



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Porovnání chapadel s pneumatickým a elektrickým pohonem

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **David Slavík**
Vedoucí práce: Ing. Marcel Horák, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Slavík**
Osobní číslo: **S14000153**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Porovnání chapadel s pneumatickým a elektrickým pohonem**
Zadávající katedra: **Katedra sklářských strojů a robotiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Dosavadním standardem v uchopovací technice byla chapadla s pneumatickým pohonem. V posledních několika letech se však začínají stále více uplatňovat chapadla s elektrickým pohonem, která přinášejí nové možnosti v řízení uchopovacího procesu z pohledu nastavování úchopných sil, polohování úchopných prvků apod., v závislosti na geometrii, stavu povrchu a mechanických vlastnostech uchopovaného objektu. Cílem práce je vytvořit přehled o současné nabídce chapadel a realizovat rešerši se zaměřením na elektrická chapadla. V praktické části na základě dostupného HW v laboratoři robotiky na KSR navrhnout a sestavit laboratorní stand, na kterém následně prověřit možnosti řízení chapadla s elektrickým pohonem.

Úkolem Vaší BP bude:

1. Provést průzkum trhu a zevrubnou rešerši chapadel jak s pneumatickým, tak zejména s elektrickým pohonem.
2. Navrhnout a sestavit laboratorní stand. Provéřit možnosti řízení chapadla s elektrickým chapadlem.
3. Závěrem specifikovat výhody a nevýhody chapadel s pneumatickým a elektrickým typem pohonu v závislosti na výkonových charakteristikách s ohledem na vlastní hmotnost chapadla, pořizovací cenu, možnosti řízení, nastavování provozních parametrů apod.

Rozsah grafických prací: **výkresová dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] **NOVOTNÝ, F., M. HORÁK.** *Efektory průmyslových robotů.* TU v Liberci, 2015, 116 s., ISBN 978-80-7494-195-5.

[2] **NOVOTNÝ, F., M. HORÁK.** *Konstrukce robotů.* TU v Liberci, 2015, 236 s., ISBN 978-80-7494-216-7.

[3] **WOLF, A., R. STEINMANN, H. SCHUNK.** *Grippers in Motion.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, 246 s., ISBN 3-540-25657-1.

[4] *Úvod do pneumatiky.* Učebnice FESTO Didactic, Praha 1994, 197 s.

[5] *Katalogy renomovaných výrobců chapadel.*

[6] *Technická dokumentace a návod k obsluze chapadla.*

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marcel Horák, Ph.D.**

Katedra sklářských strojů a robotiky

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ondřej Matúšek**

Katedra sklářských strojů a robotiky

Datum zadání bakalářské práce: **29. listopadu 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. února 2018**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. František Novotný, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. března 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Porovnání chapadel s pneumatickým a elektrickým pohonem

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou úchopných hlavic, zejména těch s elektrickým pohonem. Úvod práce vysvětluje základní pojmy v problematice úchopných hlavic, na něj navazuje rešerše s přehledem běžných typů úchopných hlavic používaných v průmyslové robotice, i některých speciálních typů. Práce se snaží reflektovat vývoj a trendy na trhu s chapadly. Dále je v práci řešen návrh laboratorního standu pro testování základních funkcí elektrických chapadel v laboratoři robotiky na KSR, a řešena konstrukce úchopných prvků pro chapadla. To je základem pro následné prověření možností řízení chapadel s elektrickým pohonem.

Klíčová slova

Koncový efektor, chapadlo, úchopné prvky, průmyslový robot, manipulace

Comparison of pneumatic and electric grippers

Annotation

This bachelor thesis describes the problematic of mechanical grippers, especially with electric drive. The introduction explains basic terms in the field of gripping effectors. It continues with research providing an overview of common types of grippers used in industrial robotics, as well as some special types. The thesis tries to reflect development and trends in the market with mechanical effectors. Next problem being solved in this thesis is designing a laboratory stand for electric grippers testing in the laboratory of robotics at KSR, and the construction of gripper fingers is also solved. This is the basis for the subsequent verification of the control possibilities of these electric grippers.

Keywords

End effector, gripper, gripper fingers, industrial robot, manipulation

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce **Ing. Marcelu Horákovi, Ph.D.** za odborné vedení mé práce, cenné rady a náměty, čas a trpělivost, které mě a mé práci věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat **Ing. Vlastimilu Hotařovi, Ph.D., Ing. Ondřejovi Matúškovi a Davidu Jarošovi** za pomoc s provedením experimentů v praktické části.

Nakonec děkuji svým blízkým za podporu a pomoc, kterou mi věnovali během dosavadního studiu.

Obsah

Seznam použitých zkratk a značek.....	9
Úvod.....	10
1. Teorie	11
1.1. Základní komponenty	12
1.1.1. Rám	12
1.1.2. Pohony chapadel	13
1.1.3. Transformační blok	14
1.1.4. Úchopné prvky	15
1.1.5. Senzorika.....	15
1.2. Výběr chapadla	16
1.2.1. Stanovení velikosti úchopných sil.....	17
2. Průzkum trhu s chapadly	21
2.1. Běžné typy elektrických chapadel.....	21
2.1.1. Dvoučelist'ová paralelní chapadla.....	22
2.1.2. Dvoučelist'ová angulární chapadla.....	28
2.1.3. Centrická chapadla	34
2.2. Speciální Elektrická chapadla	39
2.2.1. Otočné uchopovací moduly	39
2.2.2. Kolaborativní chapadla	41
2.2.3. Adaptivní chapadla	43
2.2.4. Antropomorfní chapadla	45
3. Praktická část	46
3.1. Návrh přírub a úchopných prvků	48
3.1.1. Návrh příruby a ÚP k chapadlu EGP 40-N-N-B.....	48
3.1.2. Návrh příruby a ÚP k chapadlu MEG 40 EC.....	51
3.1.2. Návrh přírub chapadlu WSG 050-110-B	53

3.2. Seznámení se s chapadly	56
3.2.1. EGP 40-N-N-B.....	56
3.2.2. MEG 40 EC.....	59
3.2.2. WSG 050-110-B	61
3.3. Shrnutí praktické části.....	65
4. Závěr	66
Použitá literatura	68
Seznam výkresové dokumentace	69

Seznam použitých zkratek a značek

Zkratka	Význam
KSR	Katedra sklářských strojů a robotiky
HW	Hardware
PR	Průmyslový robot
BP	Bakalářská práce
DC	Direct current, Stejnoseměrný proud
MÚE	Mechanický úchopný efektor
ÚP	Úchopný prvek
F_U	Úchopná síla [N]
k	Koeficient bezpečnosti
a_x, a_y, a_z	Zrychlení ve směru osy x, y, z [$m.s^{-2}$]
F_{Ux}, F_{Uy}, F_{Uz}	Dílní úchopné síly [N]
F_x, F_y, F_z	Zatěžující síly [N]
m	Hmotnost [kg]
T	Třecí síla [N]
N	Normálová síla [N]
f	Koeficient tření
α	Úhel vybrání čelisti
3D	Trojrozměrný
PLA	Kyselina polylactická
PLC	Programovatelný logický automat
Micro SD	Paměťová karta

Úvod

Tato práce se skládá ze čtyř základních částí. První z nich je část teoretická, na kterou navazují řešeršní, praktická část a závěr. Teoretická část této práce se snaží o vysvětlení základních pojmů problematiky aktivních efektorů, přiblížit jejich konstrukci, a nastínit problematiku výběru vhodného chapadla pro danou manipulační úlohu.

Řešeršní část se zabývá zevrubným průzkumem trhu. Snaha je vytvořit přehled o současné nabídce chapadel, zejména elektrických, jejich možnostech a důležitých parametrech.

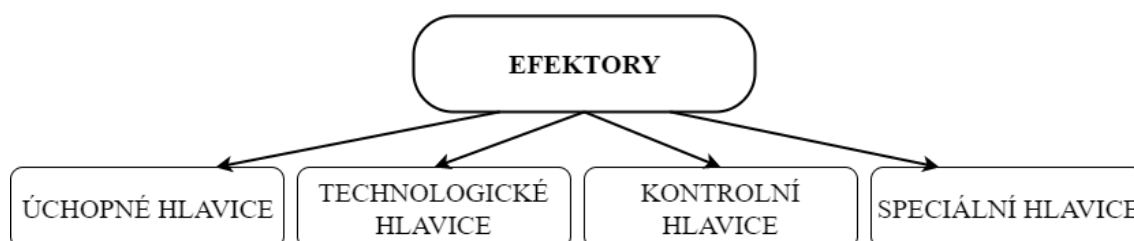
Cílem třetí, praktické části je na základě dostupného HW v laboratoři robotiky na KSR navrhnout a sestavit laboratorní stand, na kterém následně prověřit možnosti řízení tří modelů chapadel s elektrickým pohonem.

Závěr práce shrnuje poznatky z předchozích částí práce. Pojednává o výhodách a nevýhodách chapadel s pneumatickým a elektrickým typem pohonu v závislosti na výkonových charakteristikách s ohledem na vlastní hmotnost chapadla, pořizovací cenu, a možnosti řízení.

1. Teorie

Efektory

Efektor je koncový člen průmyslového robotu (dále jen PR), popřípadě manipulátoru, který slouží ke komunikaci PR s okolím. Je výkonným orgánem, který svými vlastnostmi a konstrukcí odpovídá způsobu nasazení. [1]



Obr. 1 Základní rozdělení efektorů podle aplikačního nasazení

Úchopné hlavice

Tato BP se zabývá tímto typem efektorů. Dle [1] úchopné hlavice slouží k uchopení (tuhému fixování) objektů před následnou manipulací prostřednictvím pohybového systému PR.

Úchopné hlavice se dále dělí na:

Pasivní úchopné hlavice

Pasivní úchopné hlavice jsou takové, které nezahrnují pohon, a úchopná síla je u nich vyvozována pasivně, například silou pružiny, magnetem, nebo přísavkou u podtlakových úchopných hlavic. Nevýhodou tohoto typu je absence ovládacího vstupu, tedy že úchopnou sílu nelze přímo ovládat. Dalším společným problémem všech typů pasivních úchopných hlavic je deaktivace úchopné síly v okamžiku odkládání uchopeného objektu. Tento problém je řešen kontaktem odkládaného objektu s periferií, nebo aktivně pomocí síly od vnějšího pohonu [1,13].

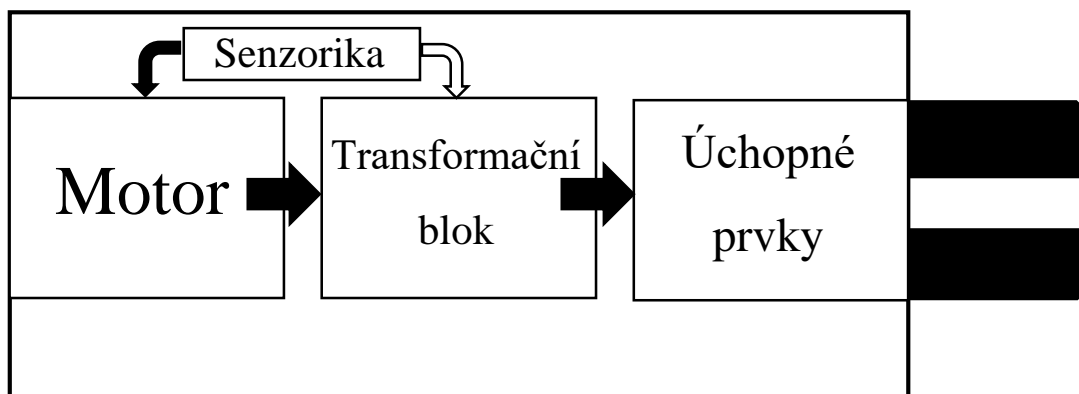
Aktivní úchopné hlavice - chapadla

Koncové členy PR, sloužící k uchopování a držení objektů při manipulaci. Vytváří spolehlivý kontakt mezi objektem manipulace a úchopným prvkem, a to buď silovým, nebo tvarovým stykem. Úchopná síla je vyvozována aktivně pohonem, na mechanickém principu [1]. Tato BP se zabývá právě tímto typem úchopných hlavic.

1.1. Základní komponenty

Konstrukce mechanických chapadel zahrnuje pět základních komponent[1,11]:

- Rám
- Motor
- Transformační blok
- Úchopné prvky (čelisti)
- Senzorika

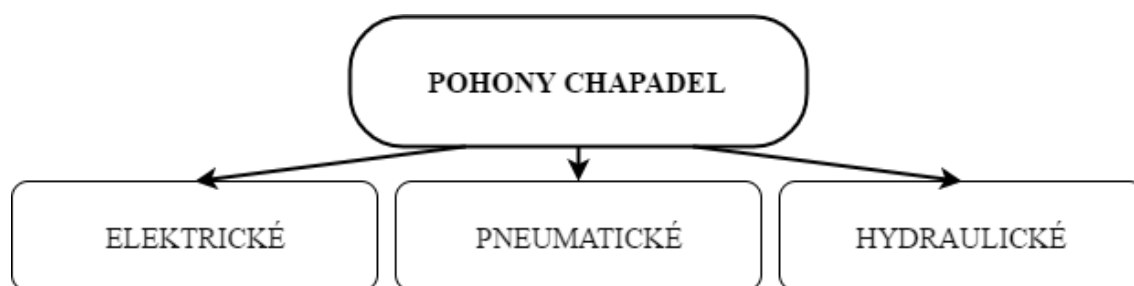


Obr. 2 Struktura chapadla

1.1.1. Rám

Rám je základním tělesem chapadla, s většinou integrovaným motorem a transformačním blokem, vedením úchopných prvků a senzorikou. Rám se prostřednictvím příruby fixuje na přírubu PR. V případě nekompatibility mechanických rozhraní je nutná konstrukce mezipříruby. Připojovací prvky mohou nepříznivě ovlivnit přesnost polohování chapadla, je proto potřeba jim věnovat náležitou pozornost, a to využitím kolíků, per, středících nákrůžků a podobně. Dále je třeba se při konstrukci mezipříruby zabývat rozměrovými a geometrickými tolerancemi, dalšímu faktoru ovlivňujícímu přesnost polohování.[1]

1.1.2. Pohony chapadel



Obr. 3 Rozdělení pohonů chapadel

Elektrický pohon

Využívají se motory s rotačním, nebo přímočarým výstupem. Nejčastějším typem pohonu je DC servomotor, popřípadě krokový motor. Výhoda tohoto typu pohonu je přesnost, a možnost regulace a řízení. Nevýhodou je jejich větší velikost a hmotnost v porovnání s chapadly s pneumatickým pohonem, ovšem s rozvojem techniky se jejich velikost zmenšuje a vyrovnává velikosti pneumatických pohonů. Další nevýhodou je jejich vyšší cena oproti pneumatickým pohonům, a jejich přetížitelnost. [1,2]

Pneumatický pohon

Pneumatické přímočaré, popřípadě kývavé motory svými vlastnostmi pokrývají většinu aplikačních požadavků. Snadné seřizování velikosti úchopné síly, rychlosti otevírání a zavírání. Pro funkci je nutný přívod tlakového vzduchu.[1,2]

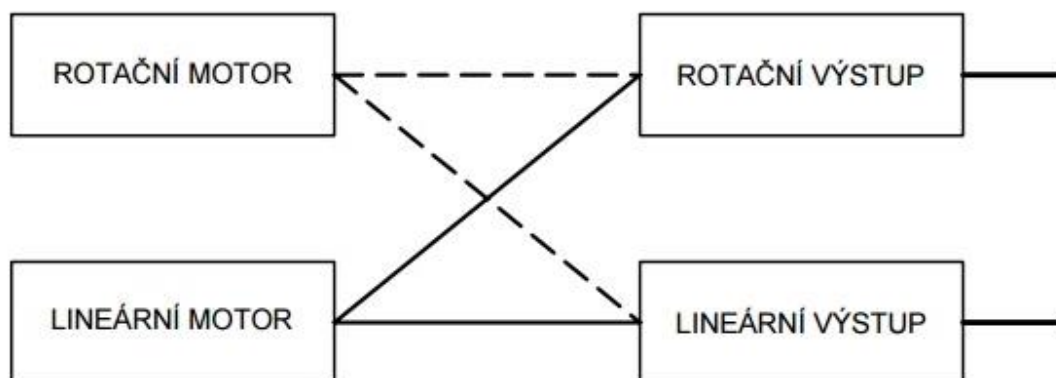
Hydraulický pohon

Používají pouze se v případech, kde je potřeba extrémních hodnot sil v uchopovacích čelistech, až 10-100 kN. Pohonem jsou hydraulické válce, membránové motory a hydromotory. [1]

1.1.3. Transformační blok

Transformační blok může plnit několik funkcí[1,11]:

- Modifikuje parametry hnací síly v přenosu na čelisti a úchopné prvky.
- Synchronizuje pohyb úchopných prvků.
- Určuje konstrukční provedení mechanické úchopné hlavice.
- Mění smysl pohybu od motoru na úchopné prvky



Obr. 4 Znáznornění možných transformací pohybu [11]

Tab. 1 Tabulka typů mechanických úchopných efektorů podle transformace pohybu [11]

Motor	Úchopné prvky	Transformace pohybu	Typ MÚE
posuvný	posuvné		T1
posuvný	rotační		T2
rotační	posuvné		T3
rotační	rotační		T4

Transformační blok většinou spojuje více z uvedených funkcí, a to v různých kombinacích, možná uspořádání mechanických úchopných hlavic jsou tak variabilní[1]. Významnou funkcí je transformace pohybu, jejíž možnosti jsou zobrazeny na Obr. 3 a 4.

Konstrukce transformačního bloku může být založena na různých mechanických principech, nejčastěji se využívají[1,11]:

- kloubové mechanismy;
- kulisové mechanismy;
- ozubené převody;
- mechanismy s křivkovou vazbou (vačkové, šablonové);
- šroubové mechanismy.

1.1.4. Úchopné prvky

Úchopné prvky (ÚP) zajišťují kontakt s objektem manipulace. Objekt je ÚP vystředěn, stabilně uchopen a držen během manipulace. Úchopné prvky se nejčastěji konstrukčně řeší, jako výměnná nástavba čelistí, jejich tvar odpovídá manipulační úloze. Při konstrukci je třeba věnovat pozornost návrhu uložení, konstrukčním tolerancím a jejich dodržení pro zajištění přesnosti, tuhosti a jednoznačné polohy spojení, dále je nutné si všimnout statické určitosti uchopení. [1,11]

Z hlediska tvaru aktivní plochy ÚP vzhledem ke kontaktní ploše objektu lze rozlišit tyto čtyři základní případy uchopení[1,2]:

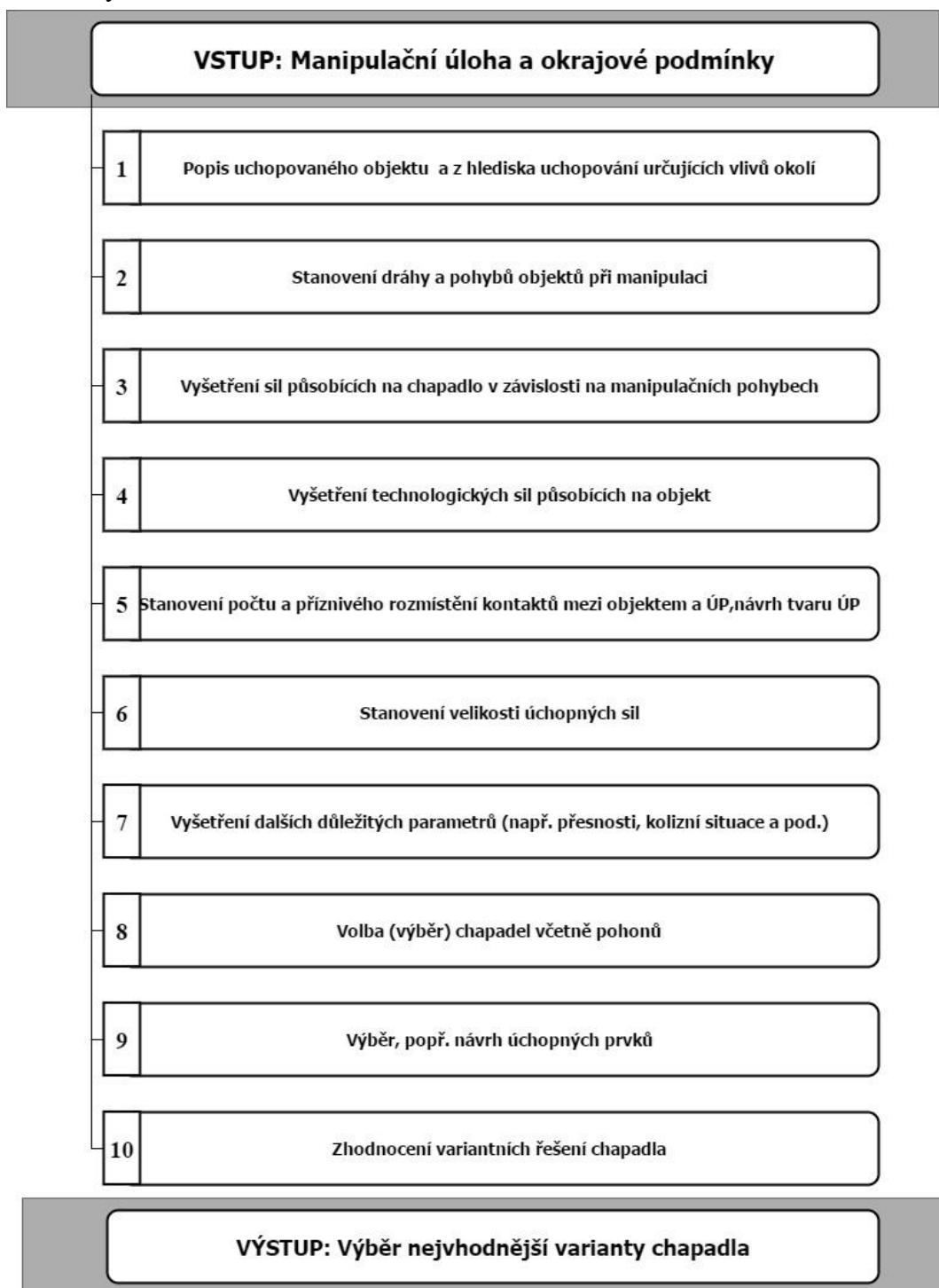
- plocha / plocha
- plocha / čára
- plocha / bod
- plocha / zdvojená čára

1.1.5. Senzorika

Vybavení úchopných hlavic senzory je vždy kompromisem mezi technickými požadavky manipulační úlohy a cenou. Nejčastěji plní úkoly hlášení polohy, technicky vyspělejší chapadla jsou vybaveny senzory na přesné odměřování polohy ÚP, popřípadě odměřování silových a momentových zatížení.

1.2. Výběr chapadla

Základem pro výběr chapadla je znalost manipulační operace a uchopovaného objektu. Pro správný výběr chapadla je nutná důkladná analýza vnějších vlivů (pracovní prostředí, vlastnosti periferií a výrobních strojů, typ PR/manipulátoru), a na těchto základech provést postupné kroky viz obr. 5, které vedou k výběru chapadel z nabídky renomovaných firem[1].



Obr. 5 Postup výběru chapadla

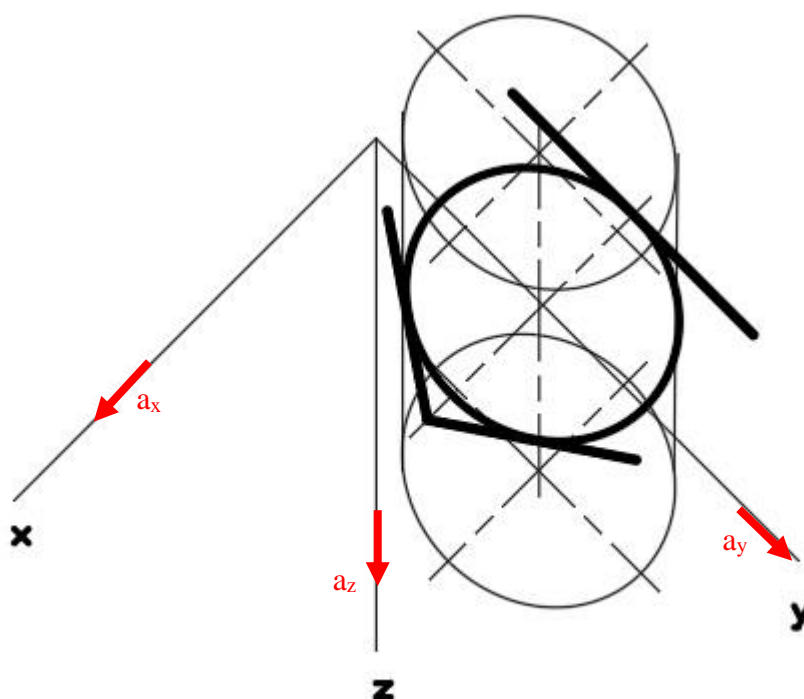
1.2.1. Stanovení velikosti úchopných sil

Úchopná síla F_U je základním výkonovým parametrem chapadla a zároveň hlavní charakteristikou při výběru chapadla z katalogů renomovaných výrobců. Úchopná síla je taková, která zajistí tuhé fixování objektu se zvolenou bezpečností. Stanovuje se pomocí principu superpozice na základě zatěžujících sil působících na objekt manipulace (gravitační síly, dynamické síly, popř. další vnější síly) [1].

Výpočet úchopné síly pro tříbodový kontakt

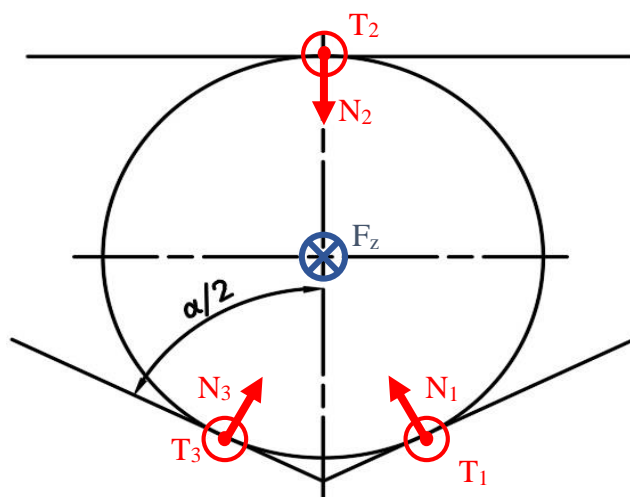
Součástí praktické části této BP je návrh úchopných prvků s tříbodovým kontaktem, kde jeden z úchopných prvků je přímý, a druhý má prizmatický tvar. Je proto vhodné uvedení příkladu postupu výpočtu úchopné síly právě pro tento případ.

Těleso tvaru válečku o hmotnosti m je uchopeno symetricky, nachází se v souřadném systému dle obr. 6. Analyzované zatížení představuje dynamické síly od zrychlení ve směru jednotlivých os. Zrychlení jsou zavedená v kladných směrech jednotlivých os. Postupně je řešena superpozice pro dílčí zatěžující síly tak, aby výslednou úchopnou silou bylo zajištěno tuhé fixování tělesa s danou bezpečností k .



Obr. 6 Umístění uchopovaného objektu v souřadném systému

Stanovení dílčí úchopné síly F_{Uz}



Obr. 7 Znáornění silových poměrů pro stanovení dílčí úchopné síly F_{Uz}

$$F_Z = m \cdot a_z \quad (1)$$

Zatěžující síla ve směru osy z je dynamickou silou od zrychlení a_z .

$$T_1 + T_2 + T_3 = F_Z \quad (2)$$

Silová rovnováha objektu. Součet třecích sil odpovídá dílčí zatěžovací síle.

$$N_1 = N_3 = \frac{N_2}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (3)$$

Rovnováha normálových sil.

$$(2N_1 + N_2)f = m \cdot a_z \quad (4)$$

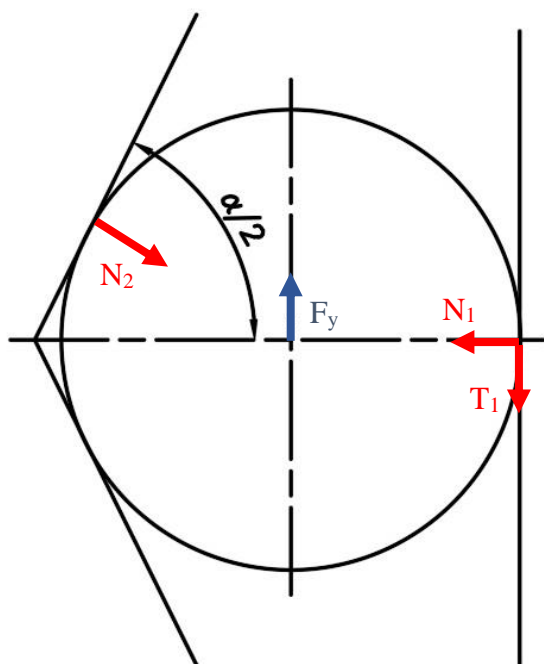
Kombinace (1),(2) a (3).

$$\left(\frac{N_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + N_2 \right) f = m \cdot a_z \quad (5)$$

$$F_{Uz} = N_2 = \frac{m \cdot a_z}{f} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{1 + \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (6)$$

Dílčí uchopovací síla F_{Uz} .

Stanovení dílčí úchopné síly F_{Uy}



Obr. 8 Znáznornění silových poměrů pro stanovení dílčí úchopné síly F_{Uy}

$$F_y = m \cdot a_y \quad (7)$$

$$T_1 = N_1 \cdot f \quad (8)$$

$$N_2 = \frac{N_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (9)$$

$$N_2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + T_1 = F_y \quad (10)$$

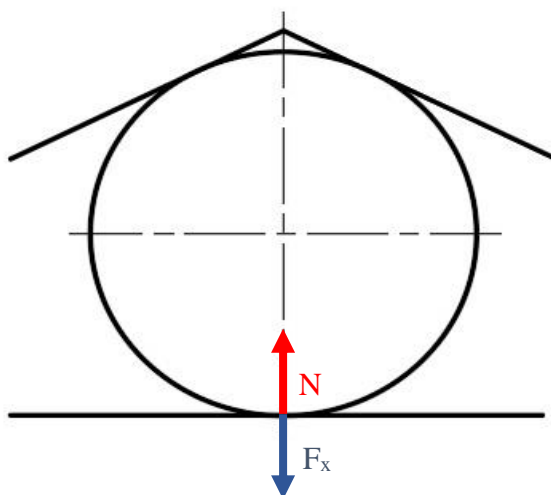
Silová rovnováha objektu.

$$\frac{N_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} + N_1 \cdot f = m \cdot a_y \quad (11)$$

$$\underline{\underline{F_{Uy} = N_1 = \frac{m \cdot a_y}{f + \cot g \frac{\alpha}{2}}}} \quad (12)$$

Dílčí úchopná síla F_{Uy} .

Stanovení dílčí úchopné síly F_{Ux}



Obr. 9 Znázornění silových poměrů pro stanovení dílčí úchopné síly F_{Ux}

$$\underline{\underline{F_{Ux} = N = F_x = m \cdot a_x}} \quad (13)$$

Dílčí úchopná síla F_{Ux} odpovídá dílčí zatěžující síle.

Výsledná uchopovací síla F_U

$$\underline{\underline{F_U = k \cdot m \cdot \left[a_x + a_y \cdot \frac{1}{f + \cot g \frac{\alpha}{2}} + a_z \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{1 + \sin \frac{\alpha}{2}} \right]}} \quad (14)$$

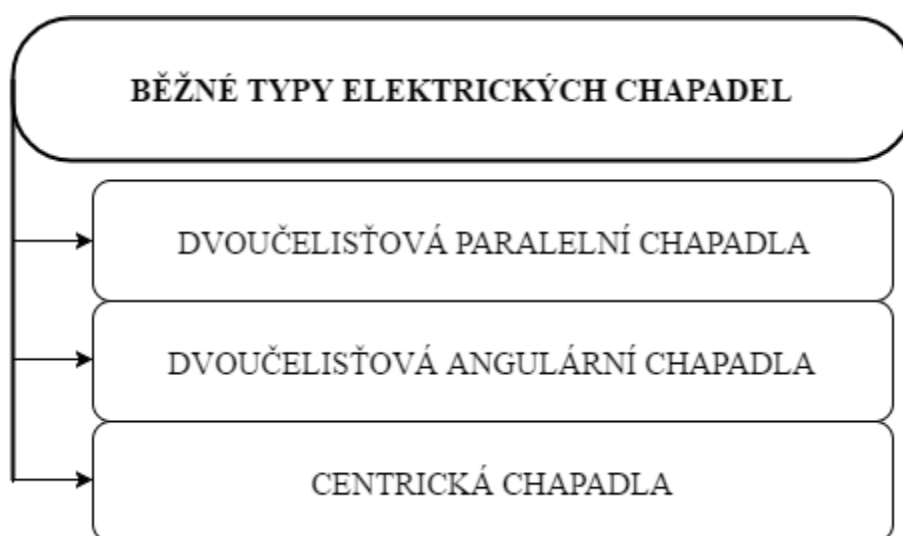
Výsledná uchopovací síla F_U je součtem dílčích uchopovacích sil vynásobeným zvoleným součinitelem bezpečnosti k . Z výsledného vzorce je zřejmé, že její velikost závisí na hmotnosti uchopovaného objektu a dílčích zrychleních. Dále je závislá na tvaru uchopovacích prvků, a součiniteli tření f , který lze vyčíst z Tab. 2. Hodnoty koeficientů tření se v každém zdroji liší, a je nejlépe je změřit experimentálně.

Tab. 2 Součinitel tření f v závislosti na materiálu ÚP a uchopované součásti [12]

		Povrch součásti				
		ocel	mazaná ocel	hliník	mazaný hliník	guma, plast
Povrch chápavla	ocel	0.25	0.15	0.35	0.20	0.50
	mazaná ocel	0.15	0.09	0.21	0.12	0.30
	hliník	0.35	0.21	0.49	0.28	0.70
	mazaný hliník	0.20	0.12	0.28	0.16	0.40
	guma, plast	0.50	0.30	0.70	0.40	1.00

2. Průzkum trhu s chapadly

V současnosti se na trhu s elektrickými chapadly vyskytuje mnoho společností. Mezi zástupce firem vyrábějících elektrická chapadla patří například tyto firmy: SCHUNK, FESTO, GIMATIC, SMC, ZIMMER, HENLICH, DESTACO, PHD, IAI, ROBOTIQ, a jiné. Typy chapadel v nabídce se liší dle společnosti. Většina společností má v nabídce běžně tyto typy chapadel viz obr. 10. Tyto běžné typy elektrických chapadel jsou elektrickou verzí chapadel s pneumatickým pohonem. Kromě běžných typů elektrických chapadel existují na trhu i různé speciální typy, jako například antropomorfní, nebo adaptivní chapadla.



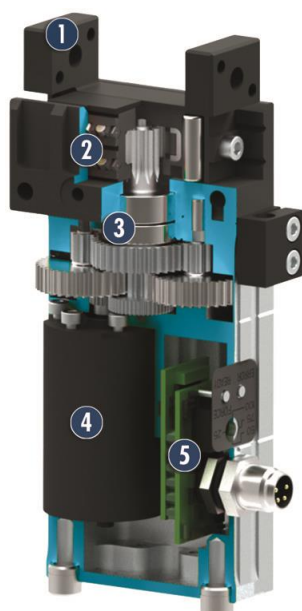
Obr. 10 Běžné typy elektrických chapadel

2.1. Běžné typy elektrických chapadel

Běžně vyskytující se typy na trhu s elektrickými chapadly jsou zpravidla elektrickou náhradou za chapadla s pneumatickým pohonem. Pro porovnání chapadel s pneumatickým a elektrickým pohonem jsou vybrány modelové řady, které mají nějaký společný parametr, jako například zdvih, úchopnou sílu, velikost atd.

2.1.1. Dvoučelist'ová paralelní chapadla

Tento typ chapadel se vyznačuje dvěma posuvnými úchopnými prvky. Existují pro širokou škálu aplikací, velikostí a tvarů výrobků. Základní konstrukční řešení obsahuje pohon DC servomotorem, popřípadě krokovým motorem. U elektrického typu chapadla je transformace rotačního pohybu pohonu na lineární pohyb čelistí nejčastěji zprostředkována formou ozubeného převodu (s použitím ozubeného řemene u chapadel s velkým zdvihem), nebo mechanismem s tvarovou vazbou, a dle [11] se jedná o typ transformace T3. Pro porovnání konstrukce, chapadla s pneumatickým pohonem zahrnují transformaci z lineárního pohybu pneumotoru na lineární pohyb čelistí zpravidla transformačním blokem s tvarovou vazbou (typ T1[11]), u chapadel s velkým zdvihem se využívá konstrukce se dvěma pneumaty, kde není transformace pohybu třeba.



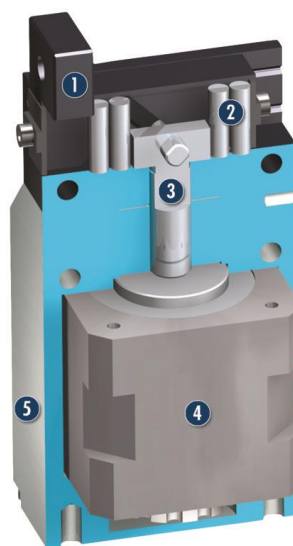
Příklad konstrukce el. chapadla 1:

1. Čelisti
2. Valivé vedení
3. Ozubený převod
4. DC servomotor
5. Ovládací elektronika

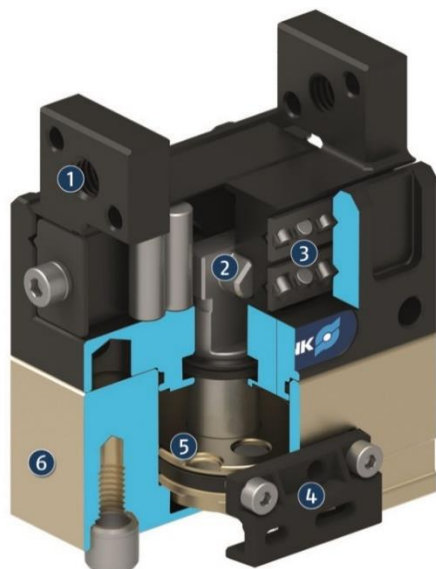
Obr. 11 Konstrukce s využitím ozubeného převodu [3]

Příklad konstrukce el. chapadla 2:

1. Čelisti
2. Valivé vedení
3. Klín
4. Krokový motor s vřetenem
5. Kryt



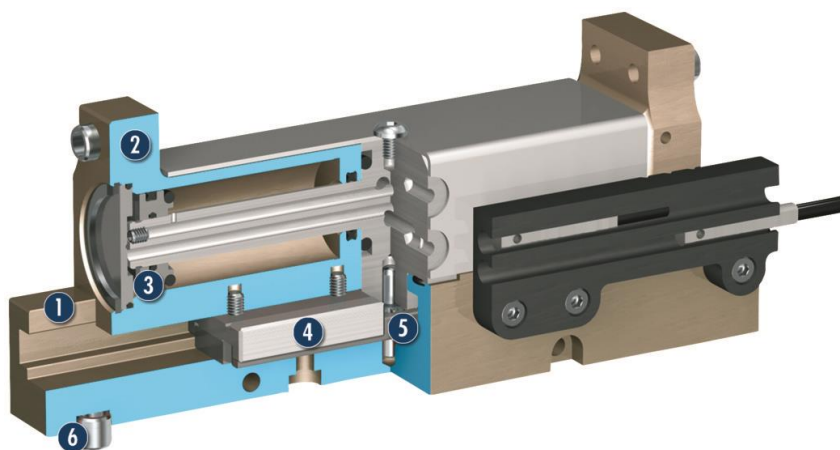
Obr. 12 Konstrukce s využitím tvarové vazby v transformačním bloku [3]



Příklad konstrukce pneu. chapadla 1:

1. Čelisti
2. Klín
3. Valivé vedení
4. Senzorika
5. Pohon
6. Kryt

Obr. 13 Konstrukce pneumatického chapadla s transformačním blokem s využitím tvarové vazby [3]



Příklad konstrukce pneu. chapadla 2:

1. Kryt
2. Čelisti
3. Pohon
4. Kluzné vedení
5. Kinematika
6. Možnost upnutí

Obr. 14 Konstrukce pneumatického chapadla se dvěma pneumotory [3]

Nejčastěji používaný typ chapadla

Dvoučelist'ová paralelní chapadla jsou nejčastěji používaným typem chapadel, protože je jejich konstrukce nejvšestrannější a jsou schopna zvládnout většinu aplikací. Díky konstrukci s vyměnitelnými ÚP jsou schopna uchopení většiny tvarů a velikostí objektů, a dokážou vykonávat stejnou práci, jako další dva typy ze tří základních typů. Mají například větší využitelnost než chapadla centrická, kde paralelní chapadlo s dvěma čelistmi může zachytit jak kruhové, tak čtvercové části buď radiálně (ze strany) nebo axiálně (shora). Naproti tomu soustředné chapadlo se třemi čelistmi může pouze manipulovat s kulatými součástmi axiálně, jako je uchopení šálku kávy z horní části kolem okraje nebo zevnitř, kde tlačí proti vnitřnímu průměru. [7]

Porovnání dvoučelistových paralelních chapadel

Pro porovnání chapadel s různým typem pohonu jsem vybral modelové řady HGPLE a HGPL-B od společnosti FESTO. Jedná se o robustní chapadla s dlouhým zdvihem s obdobnými silovými parametry, se stejnými možnostmi aplikace. Pro obě modelové řady jsem vybral chapadla se stejným označením velikosti-25, a stejným zdvihem 40mm.

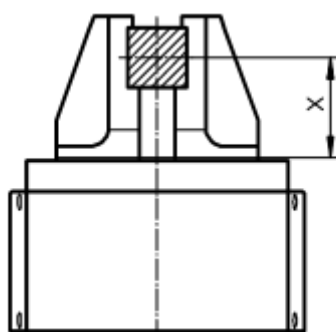


Obr. 15 Paralelní chapadlo HGPL-B [4]



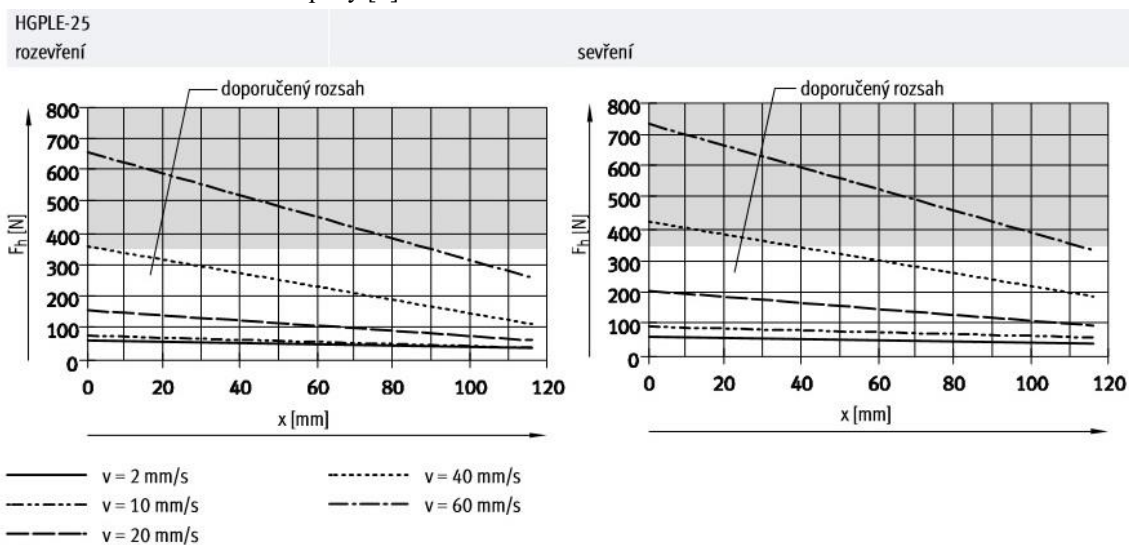
Obr. 16 Paralelní chapadlo HGPLE[4]

HGPLE-25-40



Elektrické paralelní chapadlo regulovatelným zdvihem do 40mm, s cenou 62 000 Kč. Chapadlo disponuje možností nastavení rychlosti polohování. Hmotnost chapadla je 1680g. Síla sevření chapadla závisí na nastavené rychlosti sevření a velikosti páky (vzdálenosti těžiště výrobku). Polohovací čas t je závislý na nastavené rychlosti a velikosti zdvihu.

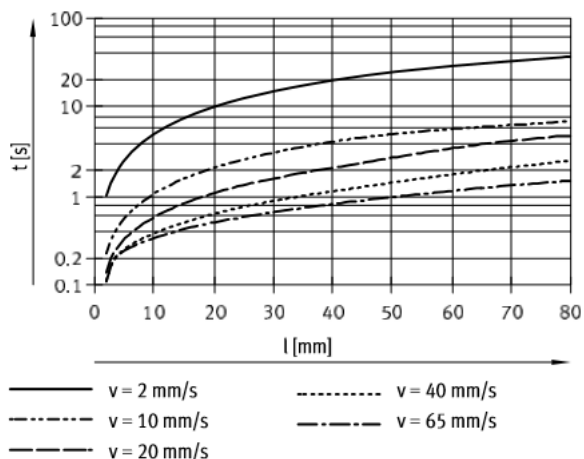
Obr. 17 Znárodnění páky [4]



Obr. 18 Grafy závislosti síly sevření a otevření na délce páky a rychlosti pohybu [4]

Tab. 3 Tabulka sil rozevření sevření při různých rychlostech při délce páky 20mm [4]

Celková síla úchopu F s ramenem páky $X = 20$ mm								
rychlost pohybu v [mm/s]		2	5	10	20	30	40	60
HGPLE-25								
rozevření	[N]	120	120	148	293	–	652	1150
sevření	[N]	121	120	176	376	–	771	1300

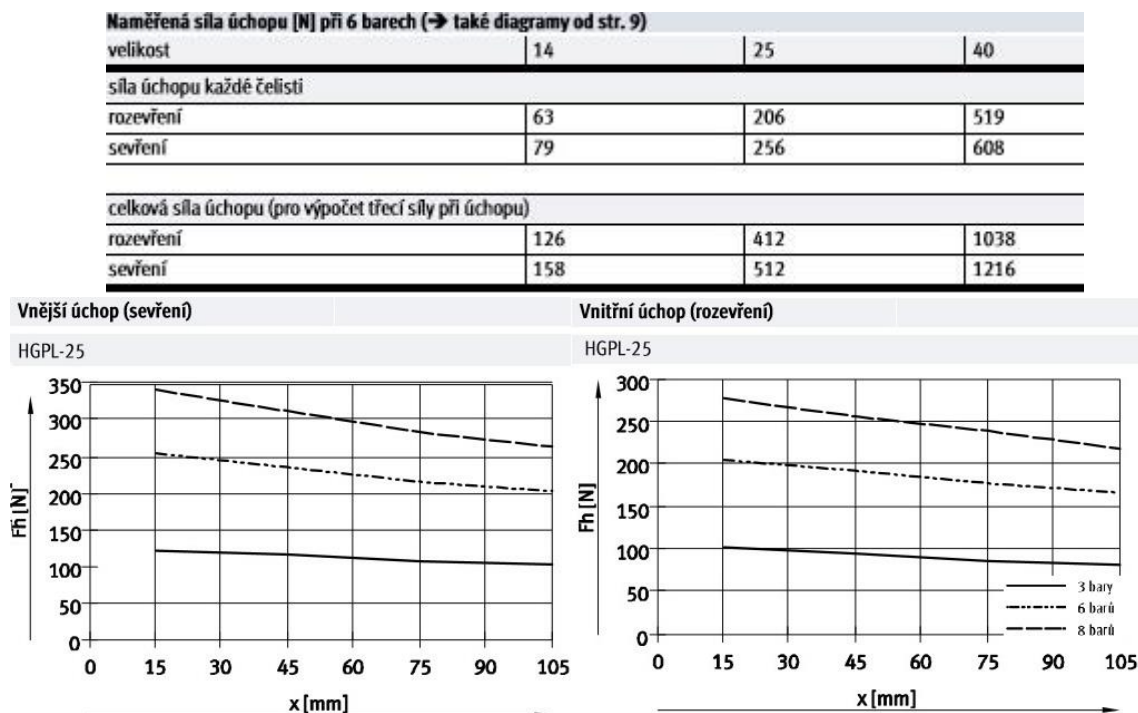


Obr. 19 Graf závislosti polohovacího času na rychlosti a délce zdvihu [4]

HGPL-B-25-40

Pneumatické paralelní chapadlo s dvěma oddělenými pneumatory, s fixním zdvihem 40mm. Význam čísla 25 v označení chapadla je velikostní řada v katalogu firmy FESTO. Hmotnost tohoto chapadla je 3300g. Síla úchopu závisí na tlaku plynu a na velikosti páky (páka znázorněna na Obr. 8). Časy rozevření a zavření pak záleží na nastaveném tlaku a hmotnosti palců chapadla. Cena chapadla je 36 000 Kč.

Tab. 4 Tabulka velikostí sil sevření při 6 barech[4]



Obr. 20 Grafy sil sevření a rozevření v závislosti na tlaku a velikosti páky [4]

Tab. 5 Tabulka časů sevření a rozevření [4]

velikost	25				
zdvih	[mm]	20	40	60	80
bez vnějších palců					
čas rozevření		170	225	370	423
čas sevření		150	230	370	418
max. přípustné časy rozevření a sevření s externími palci chapadla (v závislosti na hmotnosti)					
hmotnost palce chapadla	100 g	–	–	–	–
	200 g	–	–	–	–
	300 g	164	210	405	401
	400 g	190	243	468	463
	500 g	212	272	523	518

Shrnutí porovnání HGPLE-25-40 a HGPL-B-25-40

Elektrické chapadlo HGPLE a pneumatické chapadlo HGPL-B mají podobné silové parametry při dodržení doporučeného rozsahu u HGPLE. Zatímco u HGPL-B se provádí regulace síly úchopu nastavením tlaku, u HGPLE je síla regulována rychlostí pohybu čelistí. U HGPL- B mají čelisti fixní zdvih, zatímco u HGPLE je možno zdvih regulovat až do 40mm. Dalším rozdílem je způsob snímání poloh čelistí. U pneumatického HGPLB je snímání poloh zajištěno čidly, které však nejsou součástí konstrukce chapadla. HGPLE disponuje zabudovaným enkodérem u svého elektromotoru. Celkově tak elektrické chapadlo HGPLE disponuje většími možnostmi řízení. Pneumatické chapadlo HGPL-B je pak díky své konstrukci se dvěma pneumatiky zhruba dvakrát těžší, než elektrické, a to při poloviční maximální úchopné síle, zato však disponuje zhruba polovičními časy sevření a rozevření. Cenově je elektrické chapadlo skoro dvojnásobně dražší než pneumatické.

Tab. 6 Srovnání parametrů HGPLE a HGPL-B

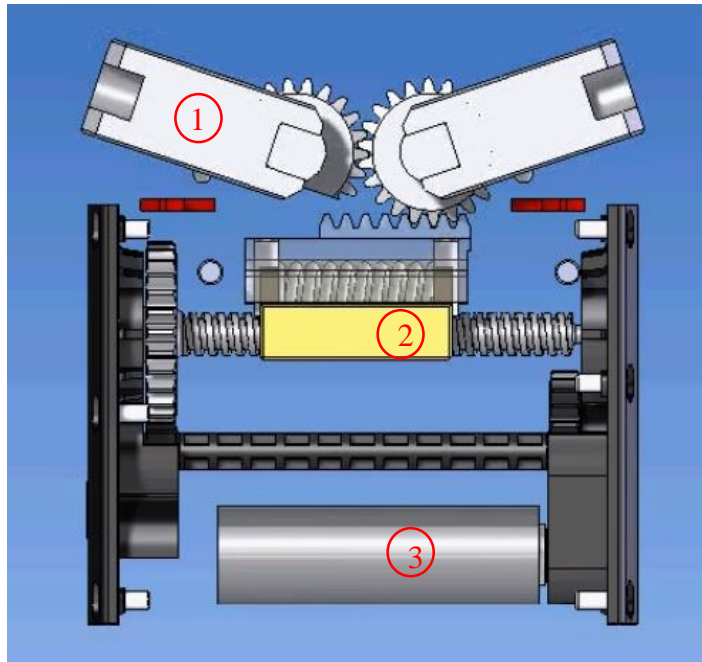
Parametry	HGPLE	HGPLB	jednotky
Zdvih	40	40	[mm]
Velikostní řada	25	25	[-]
Hmotnost	1680	3300	[g]
Max. uchopovací síla	1300	512	[N]
Min. polohovací čas	0,9	0,5	[s]
Cena	62 tis.	36 tis.	[Kč]

2.1.2. Dvoučelist'ová angulární chapadla

Dvoučelist'ová angulární chapadla jsou charakteristická pohybem úchopných prvků po kružnici. ÚP angulárního chapadla přistupují k výrobku z různých úhlů. Zvláštním případem angulárního chapadla jsou chapadla radiální, s možností rozevření čelistí do úhlu 180°. Angulární chapadla jsou vhodná pro držení větších výrobků, a výrobků zvláštních tvarů. Jsou použitelná tam, kde je místo moc úzké pro rozevření paralelního chapadla, nebo tam, kde je omezení vertikálního prostoru [7]. Pokud jsou rozměry obrobku proměnlivé, angulární chapadla mohou být ekonomičtější alternativa k paralelním chapadlům, v závislosti na příslušné aplikaci [3]. Základní konstrukční řešení elektrického radiálního chapadla obsahuje pohon DC servomotorem. Transformace rotačního pohybu elektrického pohonu na lineární pohyb čelistí je nejčastěji zprostředkována formou ozubeného převodu (T4 dle[11]). Naproti tomu konstrukce pneumatických angulárních chapadel z většiny zahrnuje kloubový mechanismus pro transformaci z lineárního pohybu pneumotoru na rotační pohyb úchopných prvků (T2 dle[11]).

Příklad konstrukce el. chapadla:

1. Čelisti
2. Ozubený převod
3. DC Servomotor



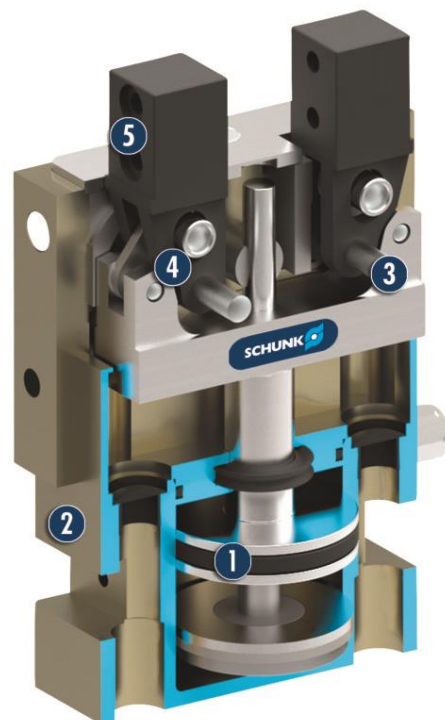
Obr. 21 Konstrukce elektrického angulárního chapadla [5]



Obr. 22 Řada MPBM elektrických angulárních chapadel společnosti GIMATIC [6]

Příklad konstrukce pneu. chapadla:

1. Pohon
2. Kryt
3. Uložení čelisti
4. Kloubový mechanismus
5. Čelisti



Obr. 23 Konstrukce pneu. angulárního chapadla[3]

Porovnání dvoučelistových angulárních chapadel

Pro porovnání radiálních chapadel s různým typem pohonu jsem vybral modely GX-S a MPRM od společnosti GIMATIC. Jedná se o radiální chapadla s úhlem rozevření čelistí 180°. Porovnání zahrnuje pneumatický model GX-16S, a elektrický model MPRM3290, vzhledem k nejpodobnějším silovým parametrům v nabídce společnosti GIMATIC.



MPRM3290



GX-16S

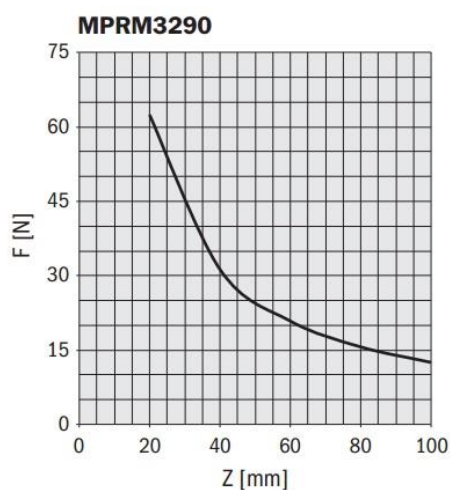
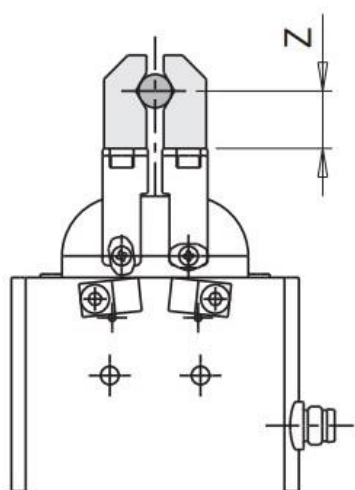
Obr. 24 Porovnávané modely od společnosti GIMATIC [6]

MPRM3290

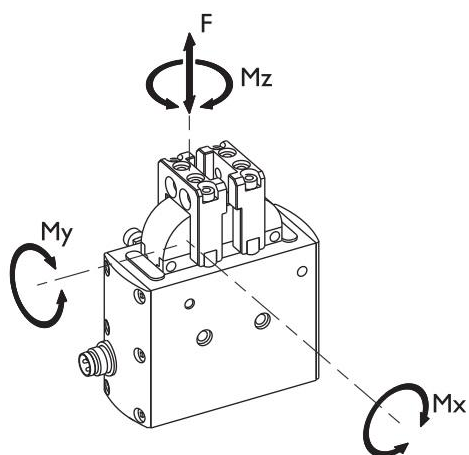
Tab. 7 Parametry MPRM3290 [6]

	MPRM3290
Total gripping torque	256 Ncm
Stroke ($\pm 2^\circ$)	2x93°
Frequency at an ambient temperature of 30°C	0.9 Hz
Jaw closing time	0.39 s
Working gripper time	0.45 s
Noise level	< 70 dB
Mass (motor included)	730 g

Samostředící elektrické radiální chapadlo s vestavěnou řídicí jednotkou, a možností řízení přes PLC. Vhodné do prašných prostředí. Indikace poloh čelistí je možná přes přídavné indukční senzory. Uchopovací síla chapadla je závislá na rameni, a to při celkovém uchopovacím momentu 2,56 Nm.



Obr. 25 Znázornění ramena uchopovací síly, Diagram závislosti uchopovací síly na jejím rameni [6]



	MPRM3290
F s	140 N
Mx s	2.5 Nm
My s	5 Nm
Mz s	5 Nm
J	3 kgcm ²

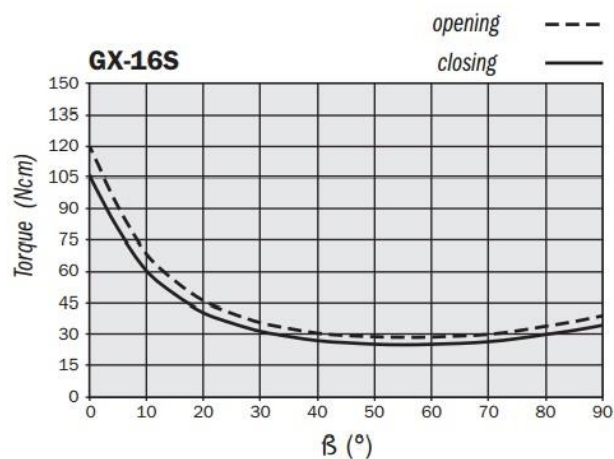
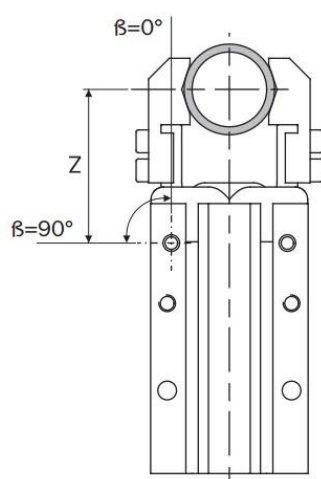
Obr. 26 Znázornění dovolených zatížení a jejich tabulka [6]

GX-16S

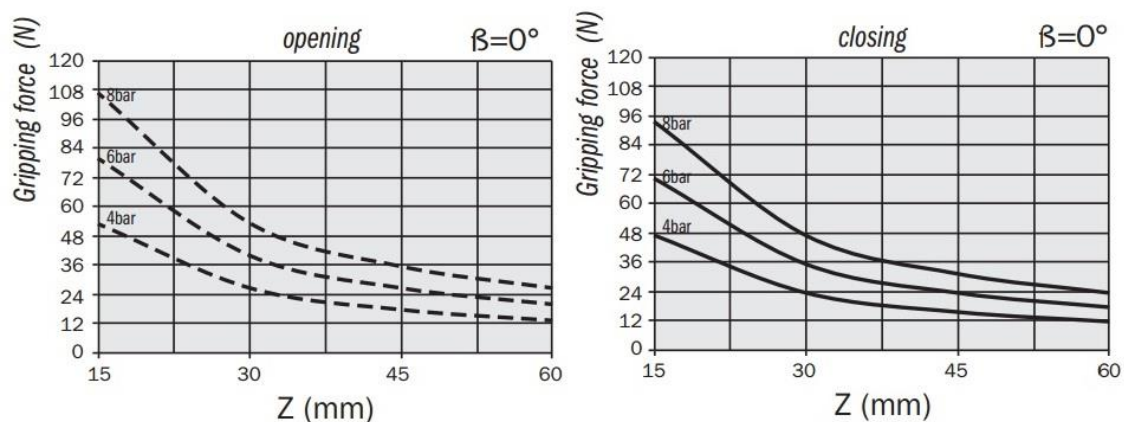
Tab. 8 Parametry GX-16S [6]

GX-16S	
Medium	compressed air
Operating pressure range	2 + 8 bar
Opening maximum total torque at 6 bar	240 Ncm
Closing maximum total torque at 6 bar	210 Ncm
Stroke ($\pm 4^\circ$)	2x90°
Maximum working frequency	2 Hz
Closing time without load	0.08 s
Repetition accuracy	0.05°
Weight	140 g

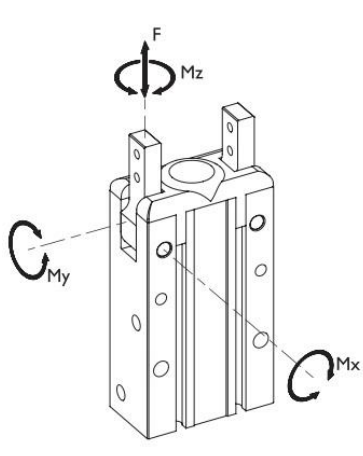
Samostředící pneumatické radiální chapadlo. Pracovní poloha je detekována pomocí magnetických senzorů přiblížení prostřednictvím magnetu umístěného na pístu pneumatoru. Uchopovací moment závisí na úhlu čelistí, a tudíž i na velikosti uchopovaného objektu, uchopovací síla je pak dále závislá na jejím rameni a tlaku. Maximální uchopovací moment je 2,1 Nm při vnějším uchopení objektu.



Obr. 27 Znáznornění úhlu čelistí, ramena síly, graf závislosti uchopovacího momentu na úhlu čelistí[6]



Obr. 28 Závislosti uchopovacích sil na jejich rameni při různých tlacích[6]



	GX-16S
F	60 N
Mx	2 Nm
My	1 Nm
Mz	2 Nm

Obr. 29 Znáznornění dovolených zatížení a jejich tabulka [6]

Shrnutí porovnání MPRM3290 a GX-16S

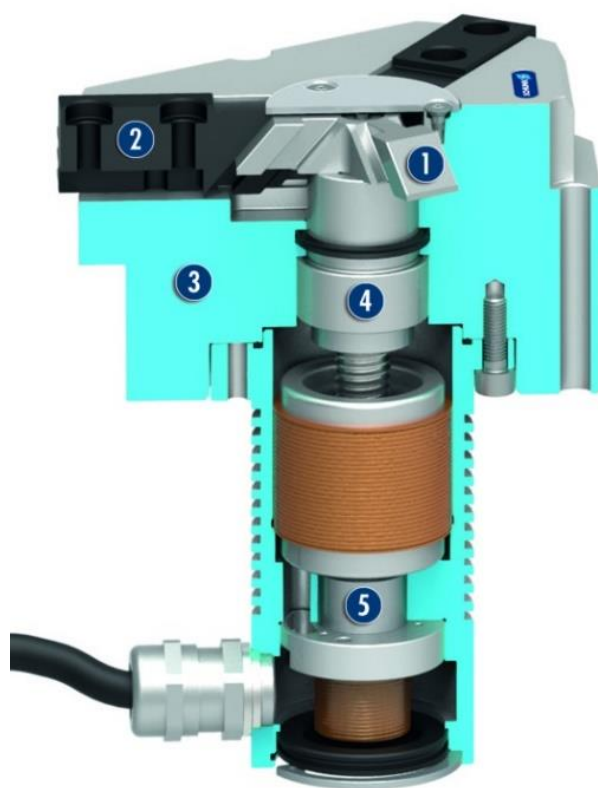
Elektrické chapadlo MPRM oproti pneumatickému chapadlu GX-S nabízí konstantní uchopovací moment v plném rozsahu pohybu. Elektrické chapadlo MPRM se vyznačuje robustní konstrukcí, těžší, než pneumatické GX-S, a je schopno snést větší silové a momentové zatížení. Výhodou pneumatického chapadla GX-S je pak lehčí konstrukce, kratší časy uzavírání čelistí a tudíž větší pracovní frekvence.

Tab. 9 Srovnání parametrů MPRM a GX-S

Parametry	MPRM	GX-S	jednotky
Hmotnost	730	140	[g]
Uchopovací moment	2,56	2,1	[Nm]
Max. pracovní frekvence	2	0,9	[Hz]

2.1.3. Centrická chapadla

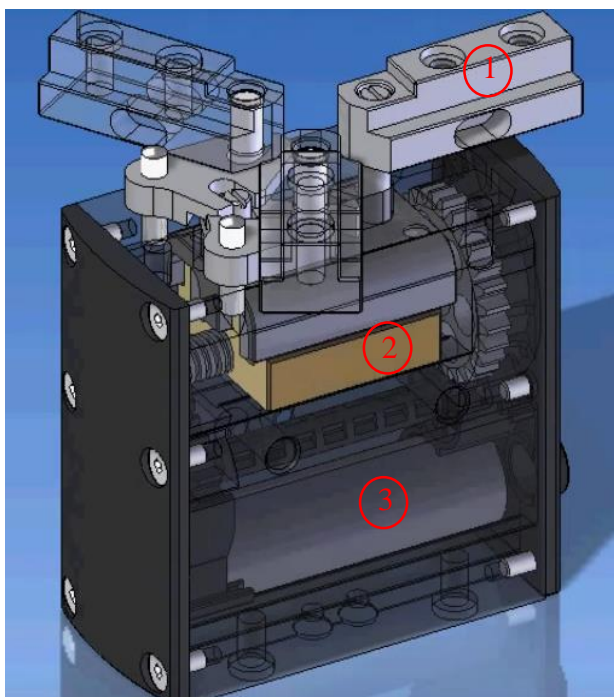
Centrická (soustředná) elektrická chapadla se vyznačují použitím třech úchopných prvků, v některých méně častých variantách i více. Používají k vystředění obrobku mezi ÚP, které jsou odsazeny o 120° [7]. Objekt je uchopován zpravidla lineárním pohybem, existují varianty s angulárním pohybem čelistí. Centrická elektrická chapadla bývají poháněna DC servomotorem. V konstrukci transformačního bloku elektrického chapadla mohou být uplatněny ozubené převody, nebo mechanismus s tvarovou vazbou kombinovaný se šroubovým mechanismem (transformace typu T3[11]). Pneumatická varianta soustředného chapadla zpravidla využívá transformace T1[11] z přímočarého pneumotoru na čelisti skrze tvarovou vazbu.



Příklad konstrukce el. chapadla 1:

1. Klín s drážkou
2. Čelist
3. Pouzdro
4. Vřetenová matice
5. DC servomotor

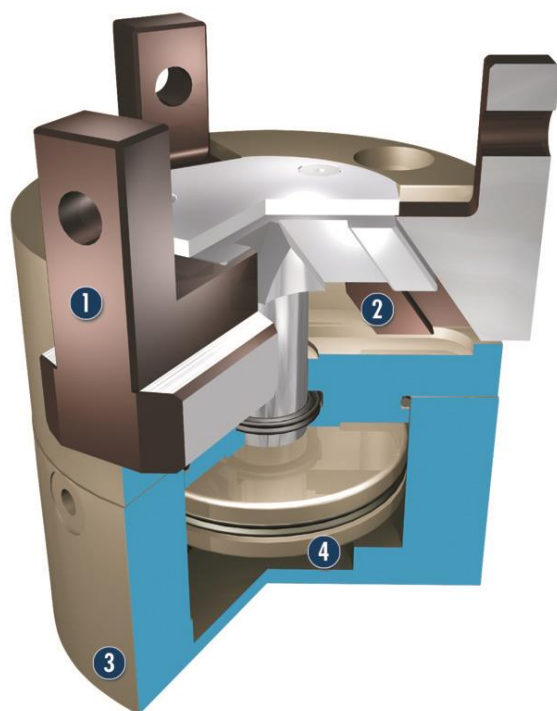
Obr. 30 Příklad konstrukce el. centrického chapadla s transformačním blokem s tvarovou vazbou[3]



Příklad konstrukce el.chapadla 2:

- 1.Čelisti
- 2.Ozubený převod
- 3.DC Servomotor

Obr. 31 Příklad konstrukce el. centr. chapadla s ozubeným převodem[8]



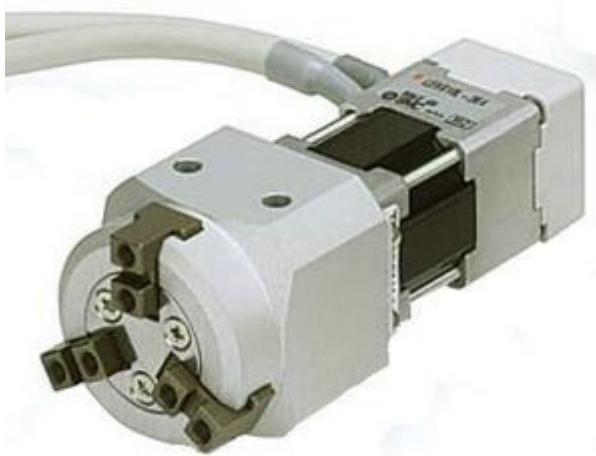
Příklad konstrukce pneu. chapadla 1:

1. Čelist
2. Klín se šikmo orientovanou drážkou
3. Pouzdro
4. Pneumotor

Obr. 32 Příklad konstrukce pneu. centrického chapadla s tvarovou vazbou[3]

Porovnání centrických chapadel

V tomto případě byly pro porovnání soustředných chapadel s různým typem pohonu jsem vybrány modelové řady LEHS a MHR3 od společnosti SMC. V porovnání byl zahrnut pneumatický model MHR3-10R, a elektrický model LEHS10/LEHS10L, kde 10 v názvech modelů je označením velikosti motoru chapadla v katalogu firmy SMC[9].



Obr. 33 Elektrické soustředné chapadlo LEHS[9]



Obr. 34 Pneumatické soustředné chapadlo MHR3[9]

LEHS10/LEHS10L

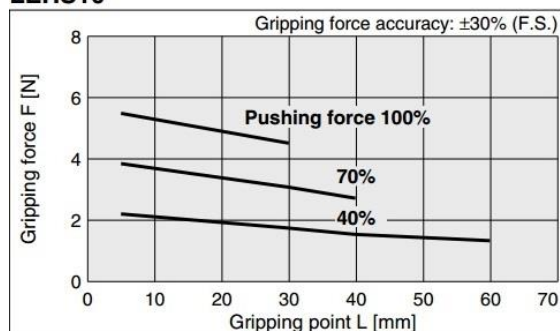
Tab. 10 Parametry LEHS10[9]

Specifications

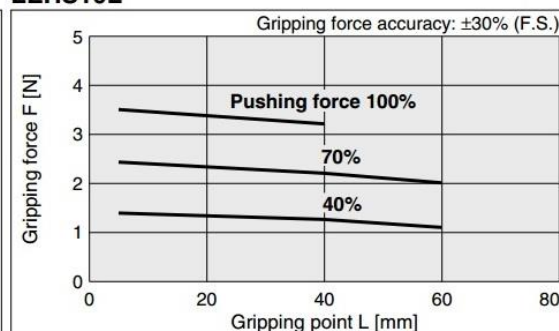
Model		LEHS10	LEHS20
Actuator specifications	Opening/closing stroke (diameter)	4	6
	Gripping force [N] <small>Note 1) Note 3)</small>	Basic	2.2 to 5.5
		Compact	1.4 to 3.5
	Opening and closing speed/ Pushing speed [mm/s] <small>Note 2) Note 3)</small>	5 to 70/ 5 to 50	5 to 80/ 5 to 50
	Drive method	Slide screw + Wedge cam	
	Repeatability [mm] <small>Note 4)</small>	±0.02	
	Repeated length measurement accuracy [mm] <small>Note 5)</small>	±0.05	
	Finger backlash/dia. [mm] <small>Note 6)</small>	0.5 or less	
	Impact/Vibration resistance [m/s ²] <small>Note 7)</small>	150/30	
	Max. operating frequency [C.P.M]	60	
Electric specifications	Weight [g]	Basic	410
		Compact	345
	Motor size	□20	□28
	Motor type	Step motor (Servo/24 VDC)	
	Encoder	Incremental A/B phase	
	Rated voltage [V]	24 VDC ±10%	
	Power consumption/ Standby power consumption when operating [W] <small>Note 8)</small>	Basic	11/7
		Compact	8/7
	Max. instantaneous power consumption [W] <small>Note 9)</small>	Basic	19
		Compact	14

Elektrické centrické chapadlo od společnosti SMC je nabízeno ve standartní variantě LEHS10 a kompaktní variantě LEHS10L. Výhody chapadla zahrnují nastavitelné síly a rychlosti uchopení, funkci prevence pádu a měřicí schopnost pro rozpoznávání různých rozměrů a měření délky výstupu[9]. Chapadlo je poháněno krokovým motorem, nebo servomotorem. Pro detekci polohy čelistí má zabudovaný enkodér.

LEHS10

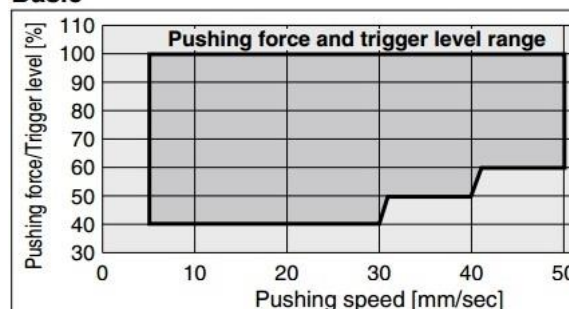


LEHS10L

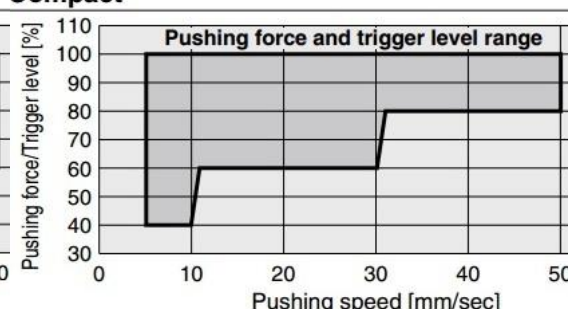


Obr. 35 Uchopovací síly LEHS10[9]

Basic



Compact



Obr. 36 Uchopovací síly v závislosti na rychlosti LEHS10[9]

MHR3-10R

Tab. 11 Parametry MHR3-10R[9]

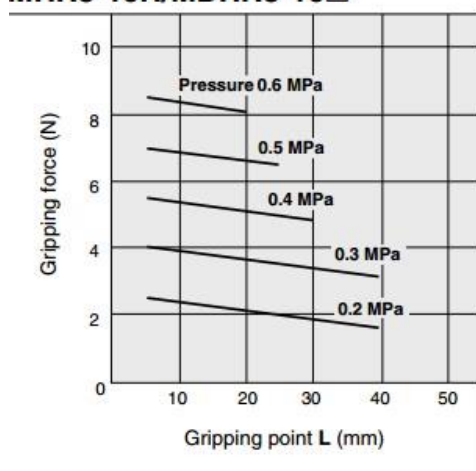
Model/Specifications

Nominal size		10
Action		Double acting
Holding force (N) (Effective value) ⁽¹⁾ at 0.5 MPa	External grip	7
	Internal grip	6.5
Opening/Closing stroke (Diameter)	Finger closing width (mm)	16
	Finger opening width (mm)	22
	Stroke (mm)	6
Weight (g) ⁽²⁾		120 (125)
Repeatability		±0.01 mm
Fluid		Air
Operating pressure		0.2 to 0.6 MPa
Ambient and fluid temperature		0 to 60 °C
Max. operating frequency		180 c.p.m

Pneumatické soustředné chapadlo, optimální pro uchopení sférických, válcových nebo kulatých dílů. Jeho křížové valivé vedení zajišťuje plynulé ovládání pro vysokou přesnost a opakovatelnost [9]. Hodnota uchopovací síly je dána úrovní nastaveného tlaku.

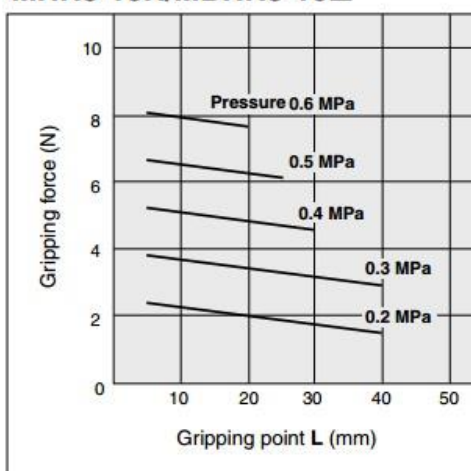
External Grip

MHR3-10R/MDHR3-10□



Internal Grip

MHR3-10R/MDHR3-10□



Obr. 37 Diagramy sil MHR3-10R[9]

Shrnutí porovnání LEHS10 a MHR3-10R

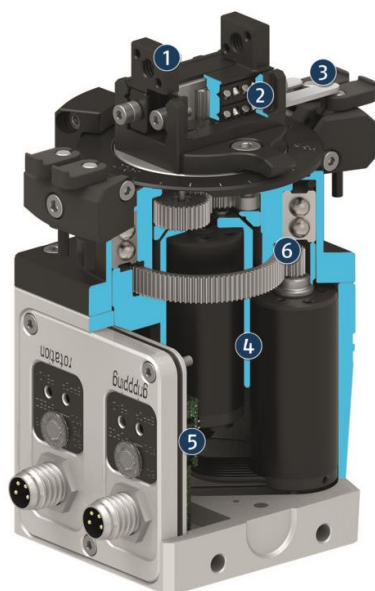
Elektrické chapadlo LEHS10 oproti pneumatickému chapadlu MHR3-10R nabízí více možností nastavení uchopovacích sil a rychlostí, a zabudovaným senzorem polohy čelistí. Pneumatické chapadlo MHR3-10R nad elektrickým LEHS10 vyniká jednodušší konstrukcí, vyšších možných úchopných sil při nižší hmotnosti chapadla, a větší pracovní frekvenci.

2.2. Speciální elektrická chapadla

Tyto typy elektrických chapadel nejsou v běžné nabídce většiny společností. Jedná se o typy chapadel, reagující na zvyšující se požadavky na elektrická chapadla, přizpůsobující se novým trendům v průmyslu, a rozšiřující možnosti elektrických chapadel.

2.2.1. Otočné uchopovací moduly

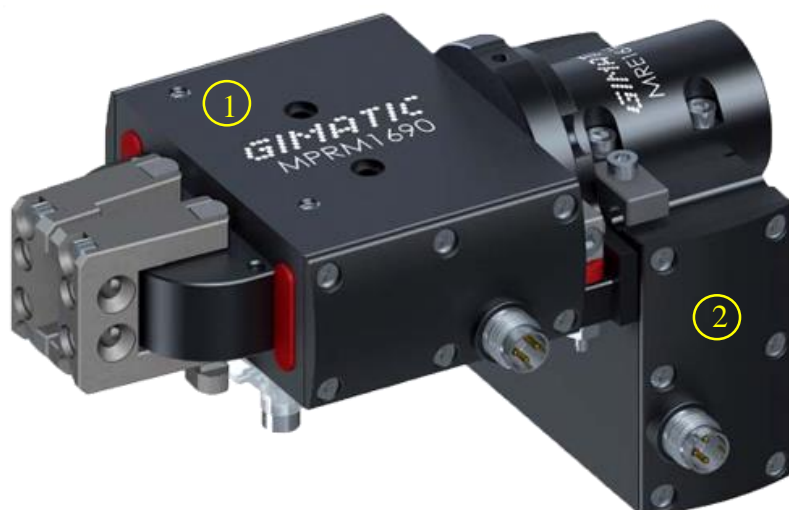
Kombinované moduly, které v jedné jednotce umožňují uchopení a otáčení obrobku. Na trhu jsou v nabídce paralelní, centrické a úhlové otočné uchopovací moduly. Lze je využít pro rychlé polohování obrobků s různou hmotností v uzavřených prostorech. Mohou být použity v široké škále aplikací, od nakládacích a vykládacích držáků obrobků, až po vkládání do montážních procesů a vyjímání hotových výrobků v obalových jednotkách.[3] Pro variantu s elektrickým pohonem je nejčastější užití paralelního uchopování. Konstrukce elektrického uchopovacího modulu zahrnuje pohon dvěma DC servomotory (jeden pro pohyb čelistí, druhý pro jejich otáčení), a transformaci na pohyb a otáčení čelistí přes ozubené převody. Existují případy, kdy se pro sestavení otočného uchopovacího modulu využívá kombinace otočné hlavice a jiného chapadla.



Příklad konstrukce 1:

1. Čelisti
2. Valivé vedení
3. Senzorový systém
4. DC servomotory
5. Kontrolní elektronika
6. Ozubené převody

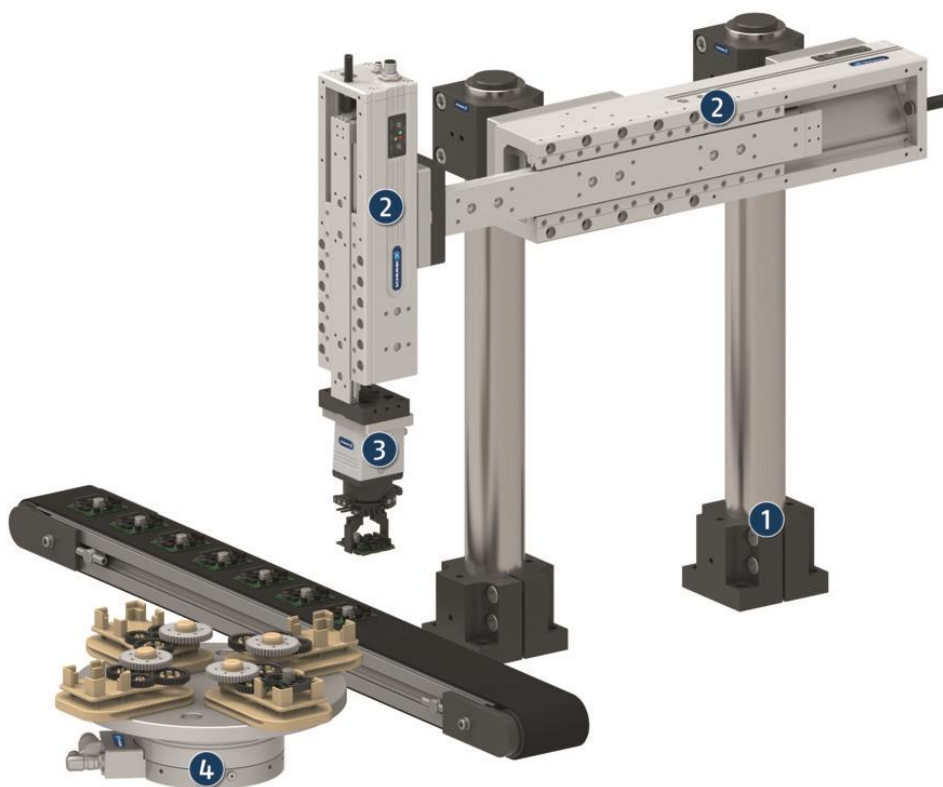
Obr. 38 Příklad konstrukce otočného uchopovacího modulu EGS společnosti SCHUNK[3]



Příklad konstrukce 2:

1. Angulární chapadlo
2. Elektrický otočný pohon

Obr. 39 Příklad konstrukce otočného uchopovacího modulu společnosti GIMATIC[6]



Obr. 40 Příklad aplikace chapadla EGS pro současné otáčení a přemísťování komponentů[3]

2.2.2. Kolaborativní chapadla

Firma SCHUNK představila první inteligentní HRC (Human-Robot Collaboration) chapadlo, které přímo interaguje s lidmi. Nastavení přizpůsobovacích procesů lze provádět v reálném čase s použitím různých senzorových systémů. V podstatě se používají různé "smysly" pro zaznamenávání, vyhodnocování a komunikaci situačních, environmentálních a provozních podmínek.

V budoucnu budou chapadla SCHUNK Co-act schopna předávat veškeré relevantní údaje o procesech a okolních podmínkách řídicích a výrobních systémů. Zaměření bude na inteligentní tok materiálů, optimalizaci procesů a průběžnou dokumentaci. Systém dokonale zlepšuje intuitivní interakce mezi chapačem a obsluhou. Takováto chapadla pak berou v úvahu nejen uchopovaný díl, ale i okolí.[3]



Obr. 41 Výhody HRC Chapadel[3]



Obr. 42 Spolupracující chapadlo JL1[3]



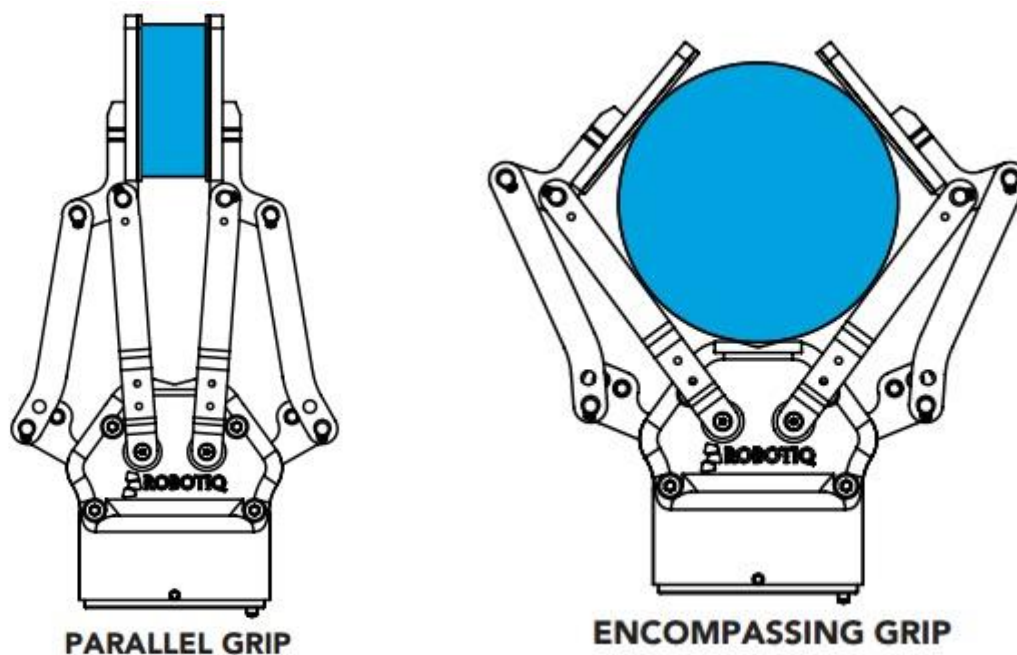
Obr. 43 Spolupráce chapadla a člověka[3]

2.2.3. Adaptivní chapadla

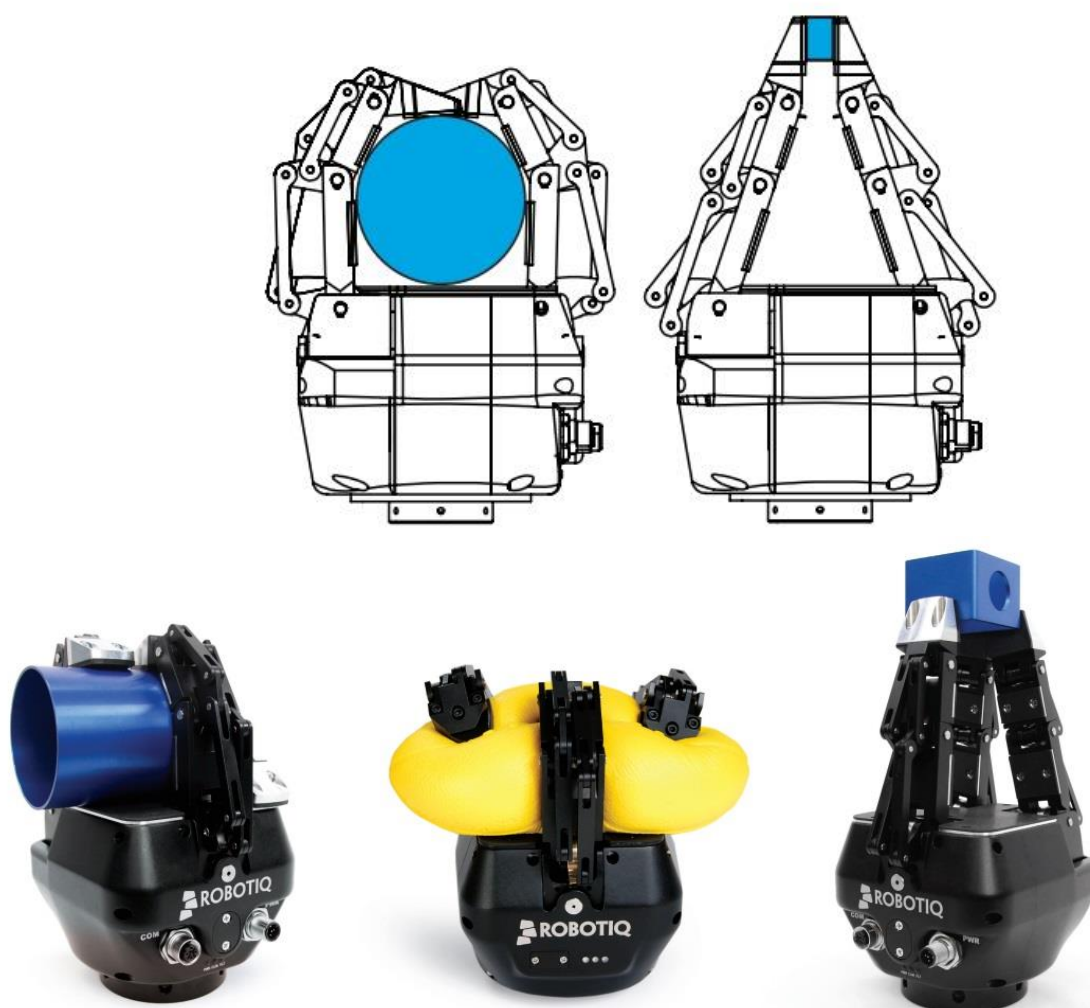
Zvyšující se nároky na flexibilitu chapadel byly podmínkou pro vznik adaptivních chapadel. Tyto chapadla disponují úchopnými prvky s možností změny tvaru. Jedním chapadlem tak lze uchopovat předměty široké škály tvarů, jsou tak schopny vykonávat operace stejné, jako všechny ostatní paralelní a angulární chapadla. Kromě nahrazení ostatních paralelních a angulárních chapadel pak využití adaptivního chapadla eliminuje potřebu různých ÚP na zakázku pro různé průmyslové aplikace. Samozřejmostí je kontrola síly a rychlosti úchopu, a zabudovaná sensorika. Jedním z výrobců adaptivních chapadel je společnost ROBOTIQ, která se na výrobu adaptivních chapadel specializuje. Společnost ROBOTIQ zaručuje kompatibilitu chapadel se všemi roboty známých značek, a nabízí dvou a tříčelist'ové varianty adaptivních chapadel [10]. Ceny adaptivních chapadel se pohybují cca 100 000 Kč (112 000 Kč za ROBOTIQ 2-FINGER 140) za dvoučelist'ovou variantu a 300 000 Kč (324 000 Kč za ROBOTIQ 3-FINGER) za tříčelist'ovou. Ostatní výrobci chapadel také vnímají zvyšující se nároky na flexibilitu chapadel, a reagují na ně vlastními modely adaptivních chapadel, jako je například chapadlo SDH od společnosti SCHUNK.



Obr. 44 Adaptivní chapadla společnosti ROBOTIQ [10]



Obr. 45 Možnosti uchopení dvoučelist'ovým adaptivním chapadlem[10]



Obr. 46 Možnosti uchopení tříčelist'ovým adaptivním chapadlem[10]

2.2.4. Antropomorfní chapadla

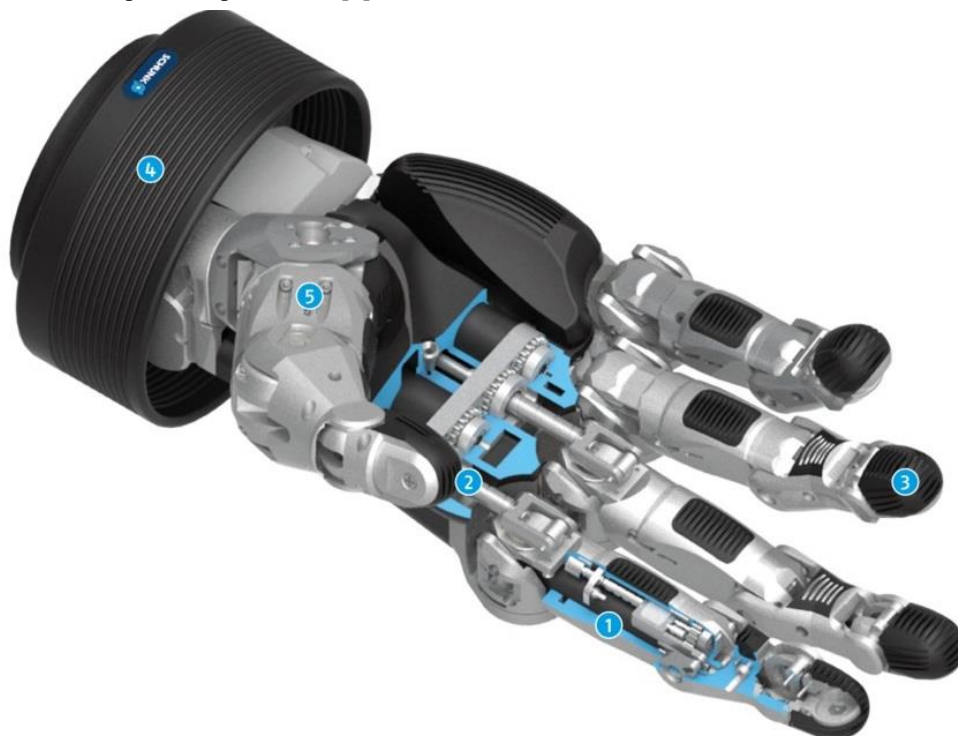


Obr. 47 Pětiprsté chapadlo SVH[3]

Společnost SCHUNK vyvinula první elektrické antropomorfní chapadlo připravené pro sériovou výrobu. Chapadlo SVH je vybaveno pěti prsty, tak jako lidská ruka. Díky pohyblivým částem s celkem devíti pohony jím lze provádět různé úchopové operace s vysokou citlivostí. Elastické uchopovací plochy zajišťují spolehlivé uchopení předmětů. Elektronika je plně integrována do zápěstí chapadla. Prodejní cena tohoto chapadla je 1 148 000 Kč[3].

Konstrukce SVH:

1. Distální pohon prstu
2. Proximální pohon prstu
3. Protiskluzový povrch prstu
4. Integrovaná elektronika
5. Palec se dvěma stupni volnosti



Obr. 48 Konstrukce SVH[3]

3. Praktická část

V praktické části této BP bylo za úkol prověření možností řízení chapadel s elektrickým pohonem. K testování byly poskytnuty tři modely od společnosti SCHUNK, a to model EGP 40-N-N-B, model MEG 40 EC, a model WSG 050-110-B.

Konstrukce přírub a úchopných prvků

Aby bylo možné prakticky prověřit možnosti řízení těchto chapadel, bylo nutno nejdříve navrhnout a sestavit laboratorní stand pro fixování polohy chapadel. Laboratorní stand byl složen připojením jednotlivých chapadel přírubami na robot Yaskawa SDA10F umístěný v laboratoři KSR. Dále byl nutný návrh úchopných prvků pro chapadla EGP 40-N-N-B a MEG 40 EC, které byly dodány bez nich, zatímco model WSG 050-110-B byl opatřen úchopnými prvky od výrobce.

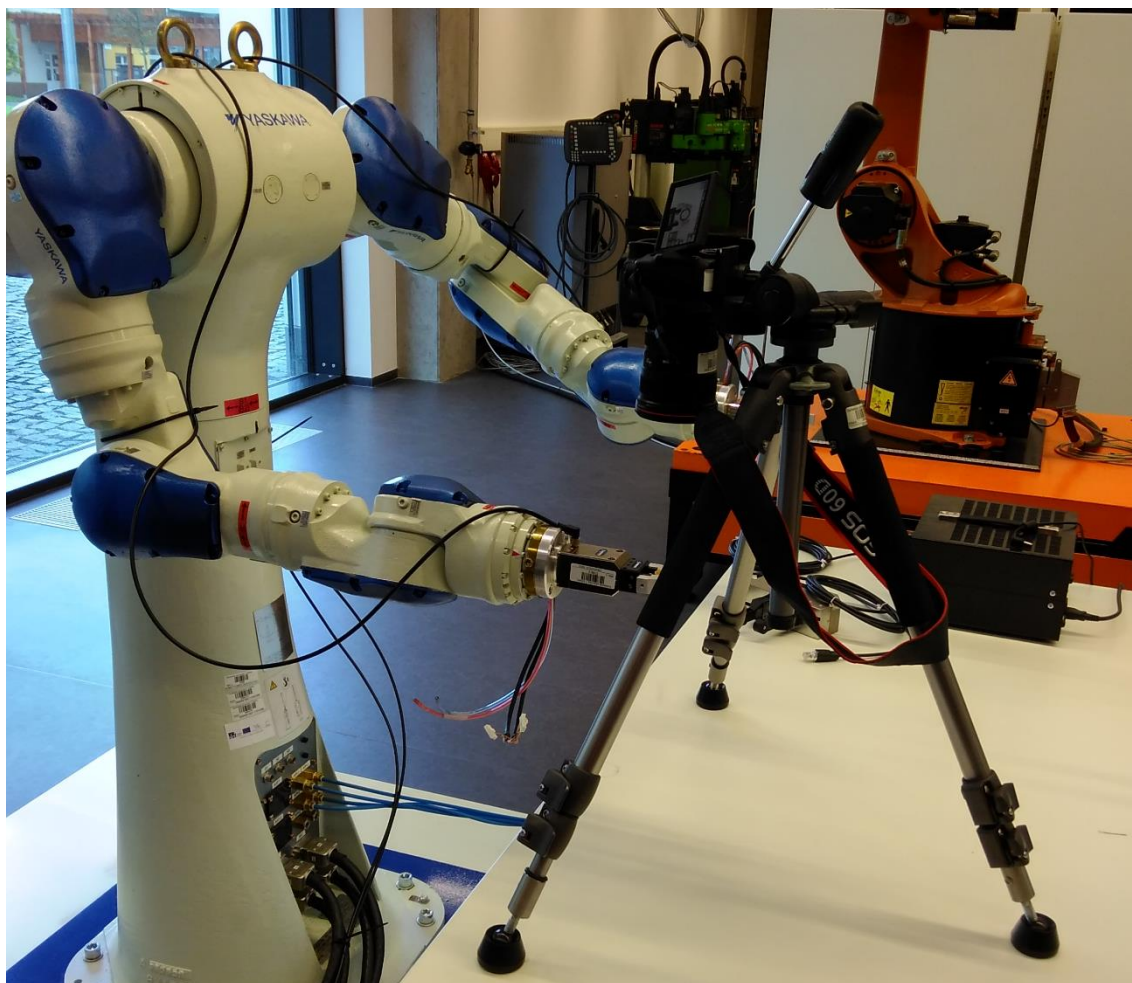


Obr. 49 Testované modely chapadel, zleva: EGP, MEG, WSG [3]

Prověření možností řízení chapadel v praxi

Po splnění konstrukčních úloh bylo možno seznámit se s jednotlivými modely a prověřit možnosti jejich řízení. Nejdůležitějším parametrem při výběru chapadla je úchopná síla. Úchopná síla je taková síla, která zajišťuje fixování uchopovaného objektu, dále se však uchopovaný objekt jejím vlivem deformuje. Možnosti nastavení úchopné síly jsou proto zejména důležité při uchopování objektů z křehkých materiálů, které by se mohly vlivem deformace poškodit (např. skleněná zkumavka). Další možností je však záměrná deformace uchopovaného objektu (např. stlačení o-kroužku před montáží).

Pro možnost pozorování vlivu úchopné síly na deformaci byly proto na 3D tiskárně vytisknuty duté válečky z PLA o průměru 20mm a různých tloušťkách stěny. Tyto válečky byly deformovány vlivem nastavené úchopné síly, a deformace válečků byly snímány fotoaparátem vždy ve stejné poloze, aby byla z fotografií rozeznatelná změna deformace. Tento experiment byl proveden pro všechny tři chapadla.



Obr. 50 Laboratorní stand při průběhu experimentu

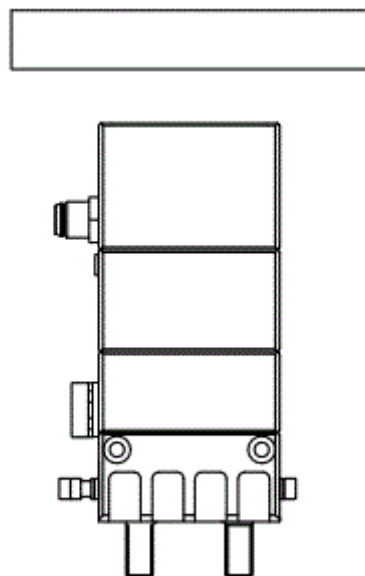
3.1. Návrh přírub a úchopných prvků

3.1.1. Návrh příruby a ÚP k chapadlu EGP 40-N-N-B

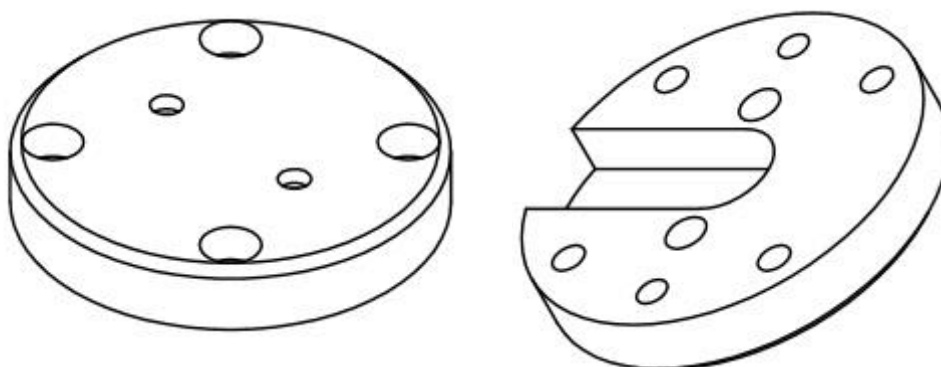
Konstrukce příruby

S přihlédnutím k velikosti a tvaru chapadla bude nejvýhodnější vzájemná poloha koncové příruby robotu a chapadla podle znázornění na obrázku vedle.

Příruba je navržena tak, aby umožnila spojení koncové příruby robotu a chapadla. Středění je provedeno pomocí středících kolíků na straně robotu a středících dutinek na straně chapadla. Příruba je připevněna čtyřmi šrouby k robotu a dvěma k chapadlu. V přírubě je nutná drážka pro vyvedení energetických řetězců z robotu.



Obr. 51 Orientace chapadla vůči koncové přírubě robotu



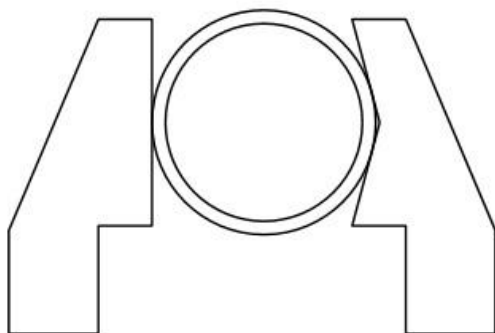
Obr. 52 Příruba EGP 40-N-N-B ze dvou pohledů

Důraz při konstrukci příruby je kladen hlavně na hmotnost a vyrobitelnost.

Materiál: Slitina hliníku

Výkres: 3-BP S14000153-1-2-02

Konstrukce úchopných prvků



Úchopné prvky byly navrženy pro uchopení tělesa ve tvaru dutého hliníkového válečku o vnějším průměru 25 mm a hmotnosti 15,4 g. Pro tento typ uchopovaného objektu byly zvoleny úchopné prvky pro tříbodový kontakt.

Obr. 53 Uchopení válečku ÚP

Oba navržené úchopné prvky vycházejí ze stejného polotovaru. Styková plocha prvního ÚP je rovná, část druhého ÚP doléhající na těleso je prizmatická s vybráním o úhlu 150° . Při návrhu ÚP byl kladen důraz na hmotnost, přesnost a jednoduchost výroby. Oba ÚP jsou opatřeny dírou se zahlučením pro šroub s válcovou hlavou pro montáž ÚP po vzoru výrobce a dále jsou opatřeny dvěma menšími dírami pro vystředění pomocí kolíků.

Materiál: Slitina hliníku

Výkresy: 3-BP S14000153-1-2-04; 3-BP S14000153-1-2-05

Výpočet úchopné síly

Byl proveden výpočet úchopné síly (viz kapitola 1.2.1), kterým bylo zjištěno, že úchopná síla potřebná pro uchopení válečku je splněna, a to nejen u chapadla EGP, ale i v případě chapadla MEG 40, kde oba modely překračují svým rozsahem sil minimální úchopnou sílu s bezpečností větší, jak 3 (jejich minimální nastavitelná úchopná síla je 35N).

Dáno: $m = 15,4 \text{ g}$; $a_x = a_y = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_z = 13,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $\alpha = 150^\circ$, $f = 0,49$, $k = 3$

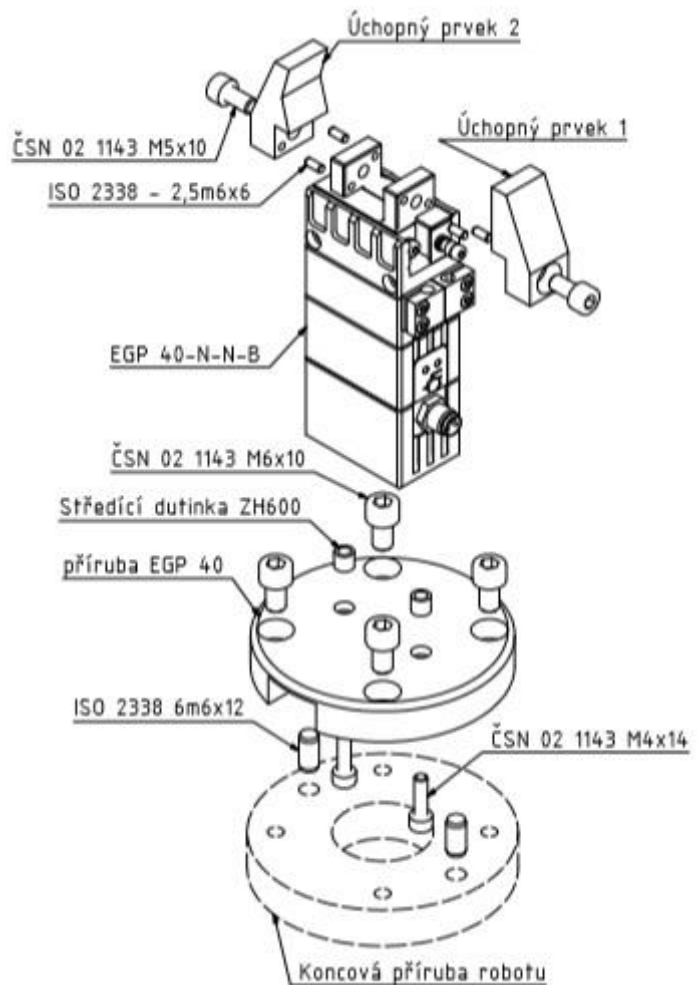
$$F_U = k \cdot m \cdot \left[a_x + a_y \cdot \frac{1}{f + \cot g \frac{\alpha}{2}} + a_z \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{1 + \sin \frac{\alpha}{2}} \right]$$

$$F_U = 3 \cdot 0,0154 \cdot \left[4 + 4 \cdot \frac{1}{0,49 + \cot g \frac{150^\circ}{2}} + 13,81 \cdot \frac{1}{0,49} \cdot \frac{\sin \frac{150^\circ}{2}}{1 + \sin \frac{150^\circ}{2}} \right] = \underline{\underline{1,07 \text{ N}}}$$

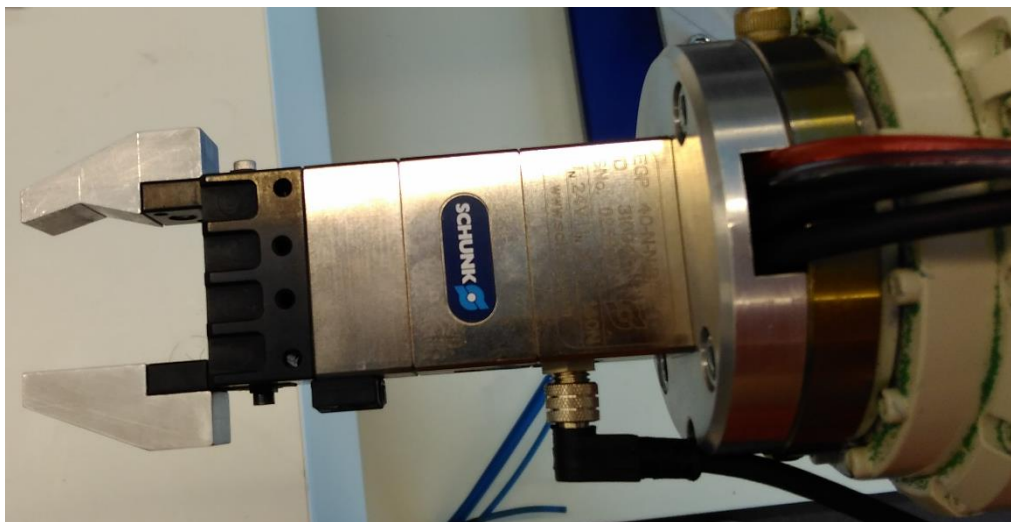
Kompletace sestavy

Montáž úchopných prvků začíná vystředěním kolíky a následným přišroubováním ÚP zvnějšku k čelistem chapadla. Při montáži chapadla na robot se chapadlo nejprve vystředí středícími dutinkami a následně přišroubuje dvěma šrouby s válcovou hlavou k přírubě. Příruba se poté vystředí kolíky a přišroubuje čtyřmi šrouby ke koncové přírubě robotu.

Výkres:3-BP S14000153-1-2-00



Obr. 54 Kompletace sestavy EGP 40-N-N-B



Obr. 55 EGP 40-N-N-B na robotu

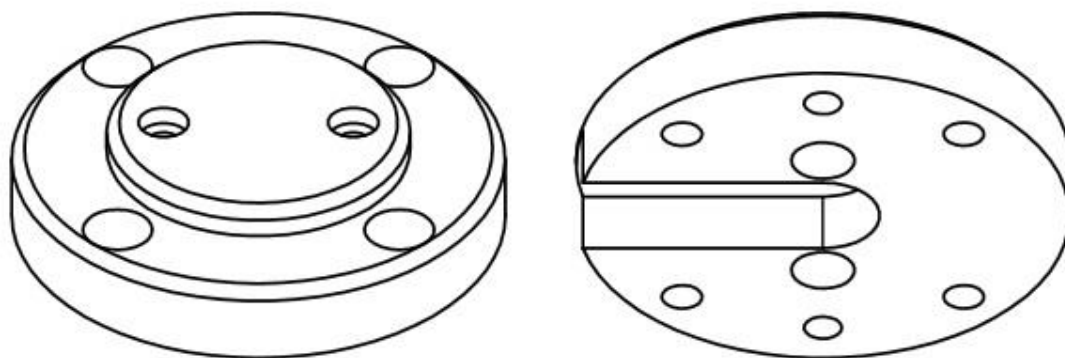
3.1.2. Návrh příruby a ÚP k chapadlu MEG 40 EC

Konstrukce příruby

Chapadlo MEG 40 EC bude k robotu nejvhodněji naorientováno stejně, jako je tomu u chapadla EGP. Konstrukce příruby k chapadlu MEG 40 EC vychází z příruby k EGP. Vzhledem k rozměrům chapadla bylo nutno přidat k přírubě osazení, aby bylo možno přírubu s chapadlem přišroubovat k přírubě robotu. Středění je provedeno pomocí středících kolíků na straně robotu a středících dutinek na straně chapadla. Příruba je připevněna čtyřmi šrouby k robotu a dvěma k chapadlu. V přírubě je nutná drážka pro vyvedení energetických řetězců z robotu.

Materiál: Slitina hliníku

Výkres: 3-BP S14000153-2-2-02



Obr. 56 Příruba MEG 40 EC ze dvou pohledů

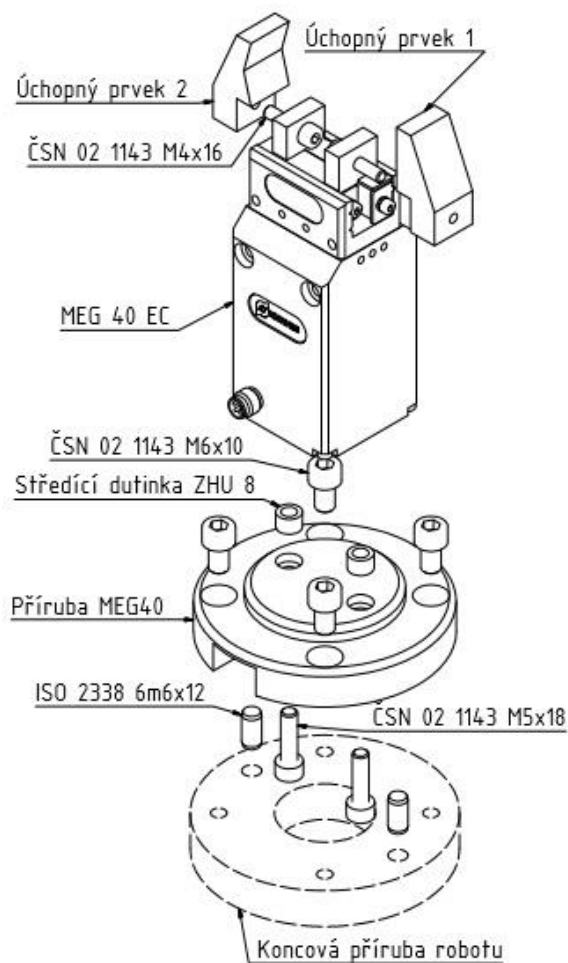
Konstrukce úchopných prvků

Úchopné prvky k chapadlu MEG 40 EC jsou rozměrově a tvarově identické s ÚP k EGP. Jedná se o zjednodušení z hlediska výroby, rozdílem jsou pouze vyvrtané závitové díry do ÚP k MEG 40 EC, a absence kolíkových děr z důvodu jiného způsobu montáže. Takto navržené ÚP splňují schopnost uchopení stejného válečku o průměru 25mm, a zároveň splňují požadavky chapadla na maximální délku úchopného prvku.

Materiál: Slitina hliníku

Výkresy: 3-BP S14000153-2-2-04; 3-BP S14000153-2-2-05

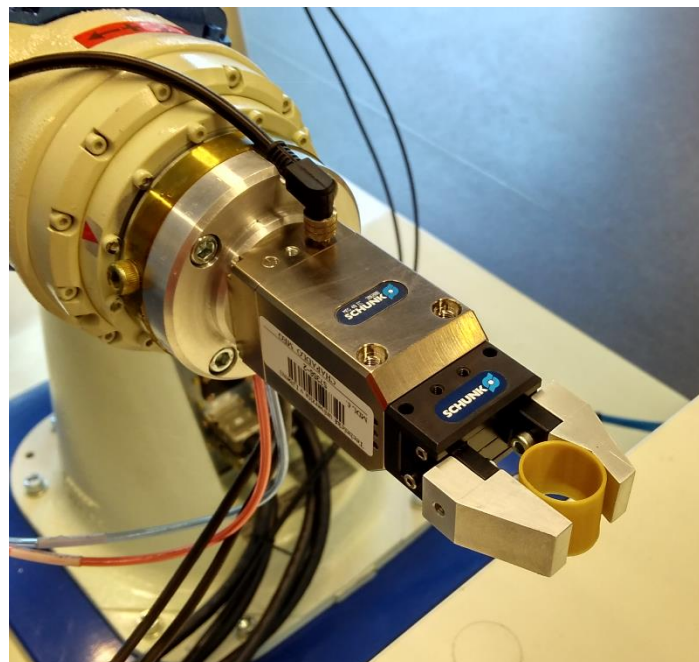
Kompletace sestavy



Montáž sestavy bude probíhat obdobně, jako u modelu EGP, rozdílem je jiná montáž ÚP, kde úchopné prvky, umístěné vně čelistí budou přišroubovány šrouby zevnitř čelistí. Během montáže chapadla na robot se chapadlo nejprve vystředí středícími dutinkami a následně přišroubuje dvěma šrouby s válcovou hlavou k přírubě. Příruba se poté vystředí kolíky a přišroubuje čtyřmi šrouby ke koncové přírubě robotu.

Výkres: 3-BP S14000153-2-2-00

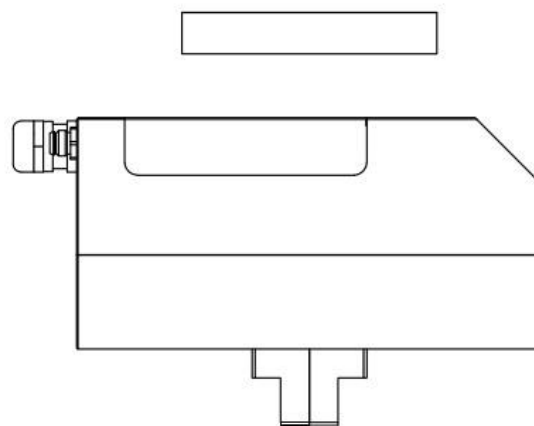
Obr. 57 Kompletace sestavy MEG 40



Obr. 58 MEG 40 EC na robotu

3.1.2. Návrh přírub chapadlu WSG 050-110-B

S přihlédnutím k velikosti a tvaru chapadla, a s ohledem na jeho připojovací možnosti, bylo nutno u tohoto modelu přistoupit k připojení chapadla k robotu pomocí dvou mezipřírub, a to při vzájemné poloze koncové příruby robotu a chapadla podle znázornění na obrázku vedle.



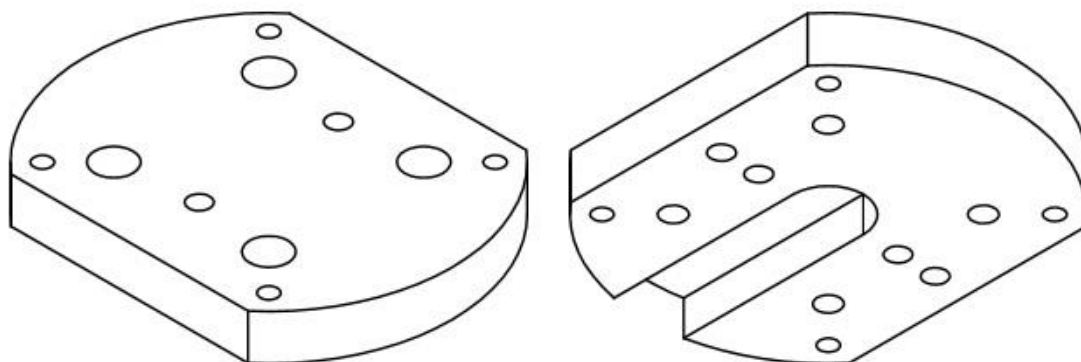
Obr. 59 Orientace chapadla vůči koncové přírubě robotu

Konstrukce první příruby

První příruba zprostředkovává napojení druhé příruby s chapadlem na robot. Středění je provedeno pomocí středících kolíků na straně robotu i na straně druhé příruby. Příruba je připevněna čtyřmi šrouby k robotu skrz díry se zahloubení pro šrouby s válcovou hlavou, dále je opatřena čtyřmi závitovými dírami pro přišroubování druhé příruby. Důraz při konstrukci je kladen na jednoduchost výroby, příruba je z kulatiny, kde pro nižší hmotnost je přebytečná hmota odříznuta. Tak jako předchozí příruby dosedající na koncovou přírubu robotu je opatřena drážkou pro vyvedení energetických řetězců z robotu.

Materiál: Slitina hliníku

Výkresy: 3-BP S14000153-3-2-02



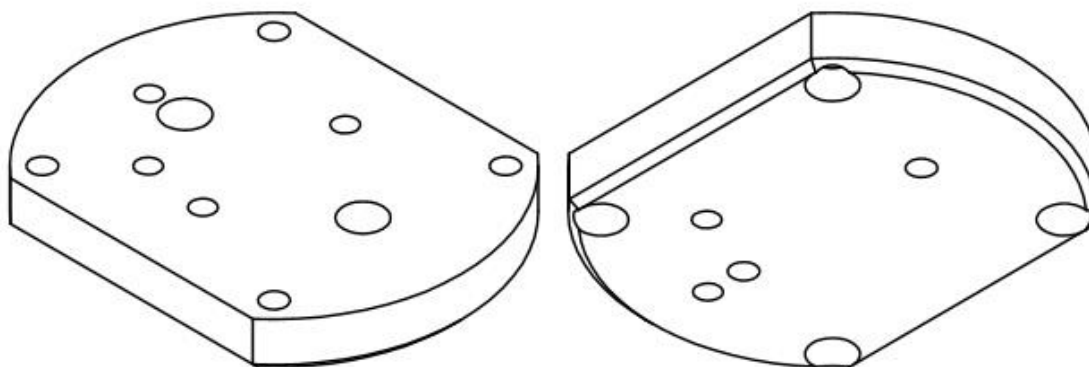
Obr. 60 První mezipříruba WSG ze dvou pohledů

Konstrukce druhé příruby

Druhá příruba spojuje chapadlo a první přírubu. Má stejný tvar a rozměry, jako první příruba. Středění je provedeno pomocí středících kolíků na straně první příruby i na straně chapadla. Chapadlo je přišroubováno k této přírubě dvěma šrouby s válcovou hlavou, příruba je dále přišroubována čtyřmi šrouby k robotu skrz díry se zahloubení pro šrouby s válcovou hlavou.

Materiál: Slitina hliníku

Výkresy: 3-BP S14000153-3-2-03



Obr. 61 Druhá mezipříruba WSG ze dvou pohledů

Úchopné prvky

Chapadlo WSG 50 bylo opatřeno dvěma úchopnými prvky ABF WSG32/50-DV od výrobce. Jedná se o hliníkové úchopné prvky s čtyřbodovým dotykem. ÚP byly vystředěny přiloženými středícími dutinkami a přišroubovány šrouby s válcovou hlavou.

Výpočet úchopné síly

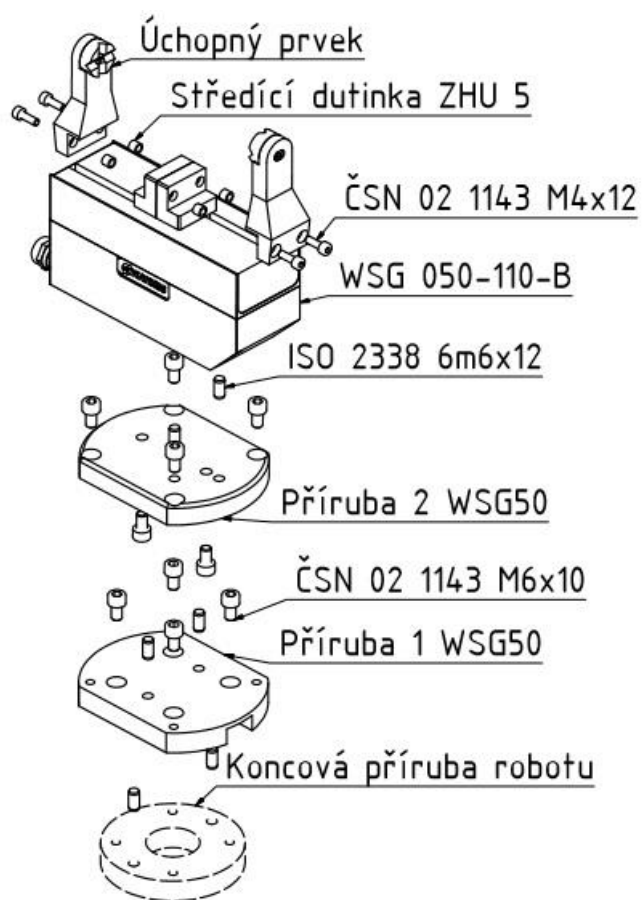
Byl proveden výpočet úchopné síly (odvozený v [1]), kterým bylo zjištěno, že úchopná síla potřebná pro uchopení válečku je splněna s bezpečností větší, jak 3 (minimální nastavitelná úchopná síla tohoto modelu je 5N).

Dáno: $m = 15,4 \text{ g}$; $a_x = a_y = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_z = 13,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $\beta = 14^\circ$, $f = 0,49$, $k = 3$

$$F_U = k \cdot m \cdot \left[a_x + \frac{a_y}{2 \tan \beta} + a_z \cdot \frac{1}{2f} \cdot \cos \beta \right]$$

$$F_U = 3 \cdot 0,0154 \cdot \left[4 + \frac{4}{2 \tan 14^\circ} + 13,81 \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,49} \cdot \cos 14^\circ \right] = \underline{\underline{1,19 \text{ N}}}$$

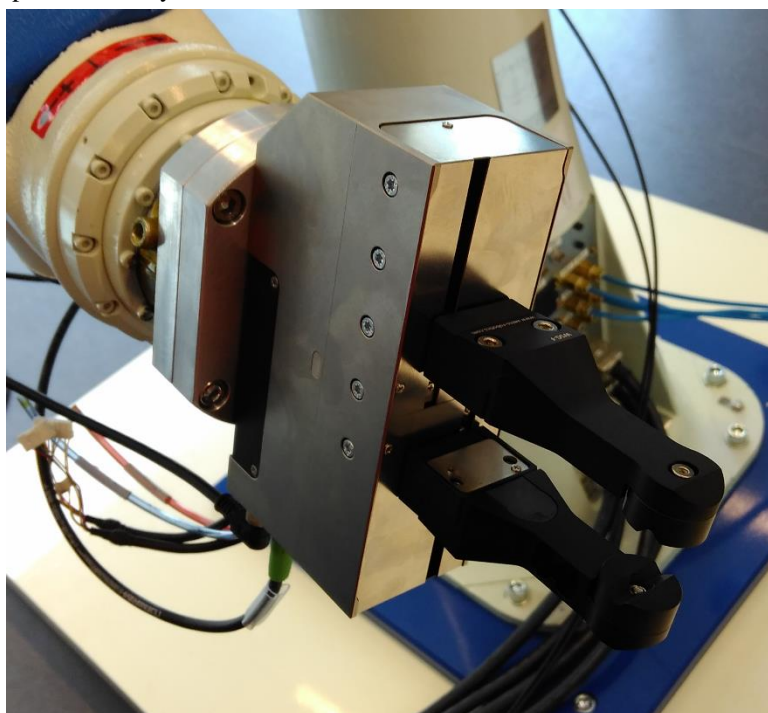
Kompletace sestavy



Prvním krokem při montáži je vystředění první příruby kolíky a její přišroubování k přírubě robotu. Dále se vystředí kolíky chapadlo a přišroubuje k druhé přírubě. Nakonec se první a druhá příruba vzájemně vystředí a sešroubují. Pro snížení počtu položek v kusovníku a zjednodušení montáže jsou v sestavě využity všechny šrouby a kolíky stejné. Úchopné prvky od výrobce se nejprve vystředí středícími dutinkami a poté přišroubují.

Výkres: 3-BP S14000153-3-2-00

Obr. 62 Kompletace sestavy WSG



Obr. 63 Sestava WSG na robotu

3.2. Seznámení se s chapadly

3.2.1. EGP 40-N-N-B

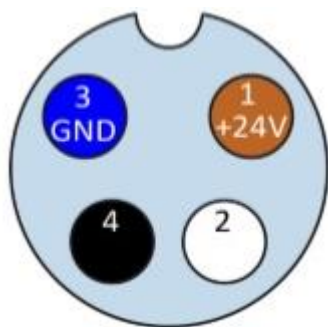
Specifikace chapadla

Jedná se o elektrické paralelní chapadlo s hladkým chodem čelistí vedenými valivým vedením. Je určeno k uchopení a přemísťování malých až středně velkých obrobků s nastavitelnou silou a vysokou rychlostí v čistém prostředí, například v laboratorním a farmaceutickém průmyslu [3]. Chapadlo je kompatibilní k instalaci indukčních senzorů od výrobce, nemá však žádnou zabudovanou senzoriku. Parametry chapadla viz tabulka.

Tab. 12 Parametry EGP 40-N-N-B

Parametry	EGP 40	jednotky
Rozsah pohybu	6	[mm]
Min./Max. uchopovací síla	35/140	[N]
Hmotnost	0,32	[kg]
Doporučená hmotnost objektu manipulace	0,7	[kg]
Max. přípustná délka prstu	50	[mm]
Max. přípustná hmotnost prstu	0,08	[kg]
Opakovatelná přesnost	0,02	[mm]
Čas otevření	0,2	[s]
Čas zavření	0,2	[s]
Min./Max. pracovní teplota	5/55	[°C]
Emise hluku	<70	[dB]
Cena	19 tis.	[Kč]

Možnosti řízení



Chapadlo EGP je vybaveno M8 konektorem se čtyřmi piny, kde dva piny (1 a 3 v obrázku) zodpovídají za napájení chapadla 24V, a přiváděním signálu na zbylé 2 piny se chapadlo otevírá (2) a zavírá (4).

Obr. 64 M8 konektor pro EGP

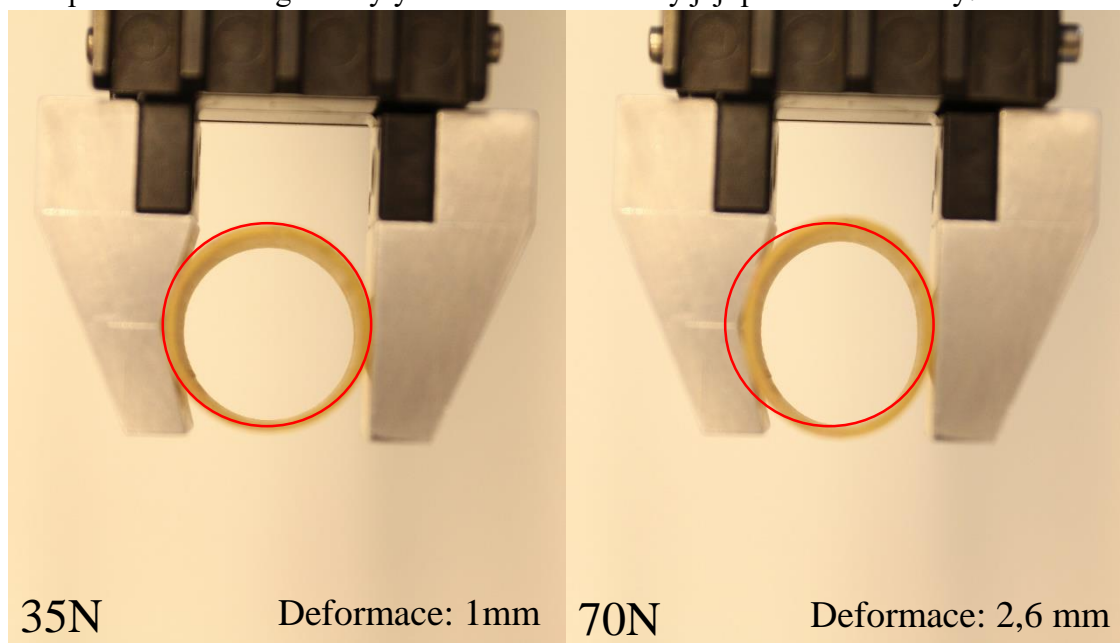
U chapadla lze nastavit velikost úchopné síly, k jejímu nastavení slouží přepínač umístěný na boku chapadla, kterým se mění velikost úchopné síly skokově a to buď na 25 %, 50 %, 75 %, nebo 100 % z maximální úchopné síly chapadla. Přepínač je opatřen diodami pro hlášení stavu připravenosti, nebo poruchy.



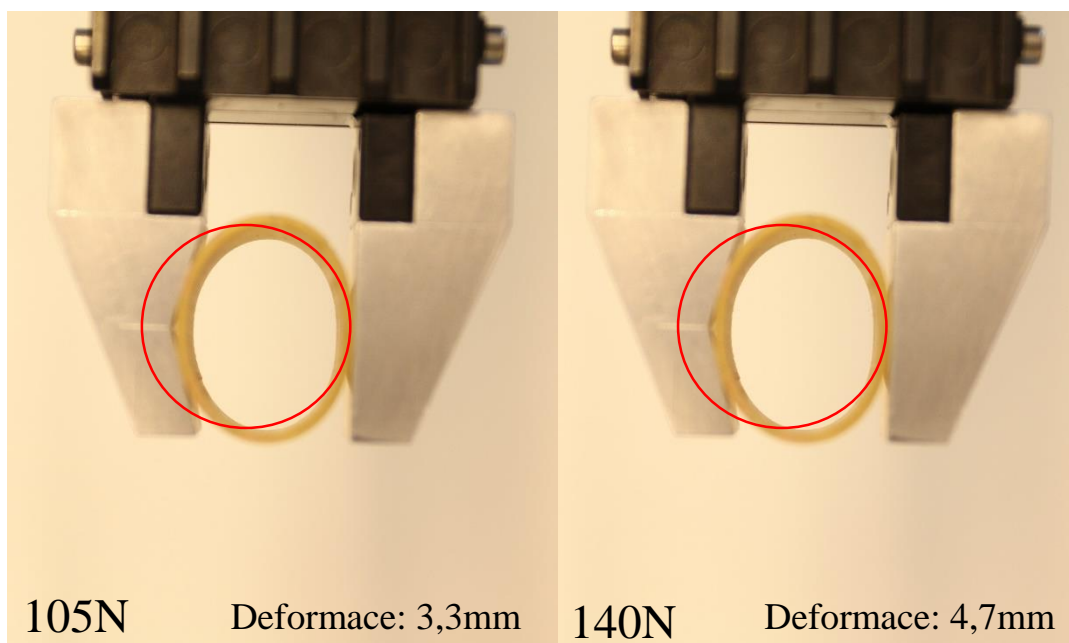
Obr. 65 Přepínač úchopné síly se signalizujícími diodami [3]

Prověření možností řízení chapadla v praxi

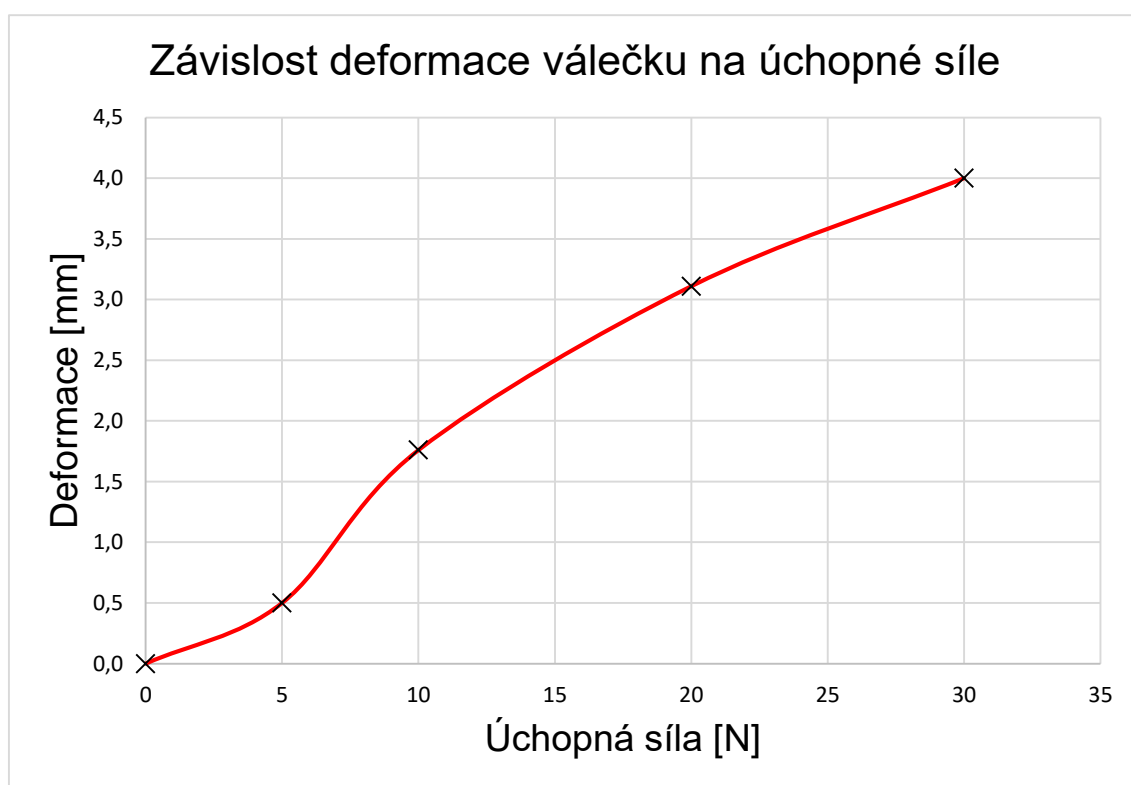
Byla měřena deformace PLA válečku o průměru 20mm a tloušťkou stěny 1mm v plném rozsahu nastavení úchopných sil chapadla EGP 40. Deformace byla snímána fotoaparátem a z fotografií byly v měřítku odhadnuty její přibližné hodnoty.



Obr. 66 Deformace válečku při 35N a 70N



Obr. 67 Deformace válečku při 105N a 140N



Obr. 68 Graf závislosti deformace válečku na úchopné síle

3.2.2. MEG 40 EC

Specifikace chapadla

Jedná se o elektrické paralelní chapadlo s hladkým chodem čelistí vedenými valivým vedením. Je určené k uchopení a přemísťování středně velkých objektů v čistém, málo kontaminovaném prostředí [3]. Disponuje nastavitelnou silou a nastavitelnou rychlostí a zdvihem. Vzhledem ke složitější konstrukci je při stejných silových parametrech těžší, než chapadlo EGP. Parametry viz tabulka.

Tab. 13 Parametry MEG 40 EC

Parametry	MEG40	jednotky
Rozsah pohybu	6	[mm]
Min./Max. uchopovací síla	35/140	[N]
Hmotnost	0,47	[kg]
Doporučená hmotnost objektu manipulace	0,2	[kg]
Max. přípustná délka prstu	40	[mm]
Max. přípustná hmotnost prstu	0,08	[kg]
Opakovatelná přesnost	0,02	[mm]
Čas otevření	0,62	[s]
Čas zavření	0,62	[s]
Max. rychlost	9,5	[mm/s]
Min./Max. pracovní teplota	5/55	[°C]
Cena	29 tis.	[Kč]

Možnosti řízení

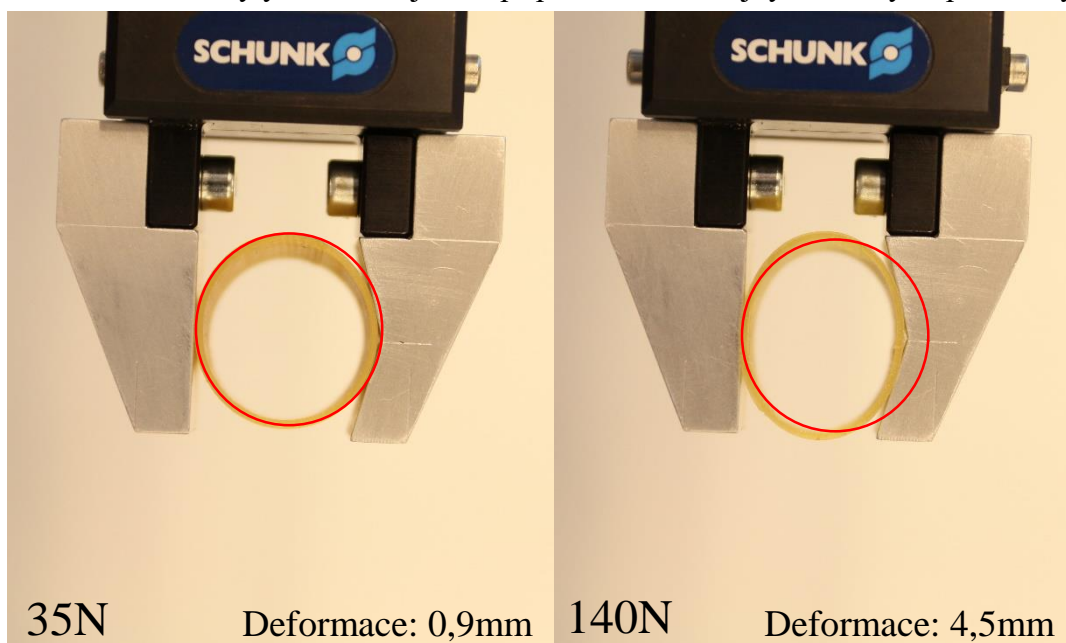
Pro řízení chapadla MEG 40 EC výrobce dodává ovládací jednotku SCHUNK MEG – C, která je připojena k chapadlu pomocí kabelu SCHUNK KA. Nastavení uchopovací rychlosti, síly a zdvihu se realizuje skrz napěťovou charakteristiku na analogových vstupech řídicí jednotky. Pokud nejsou analogové vstupy připojeny, lze tyto parametry nastavit přímo na řídicí jednotce pomocí potenciometrů, kterými lze tyto parametry nastavit plynule a ne pouze skokově jako u EGP. Stavové signály řídicí jednotky (poloha čelistí) jsou posílány zpět do nadřazené řídicí jednotky (např. PLC) prostřednictvím digitálních výstupů.



Obr. 69 Řídicí jednotka MEG-C

Prověření možností chapadla

Stejně jako u EGP bylo testováno nastavení síly na deformaci PLA válečku. MEG 40 EC byl testován bez napojení k počítači. Nastavení síly proběhlo otočením potenciometrem v řídicí jednotce otočením na minimum a maximum, tedy 35N a 140N. Výsledné deformace byly obdobné, jako v případě EGP se stejnými silovými parametry.



Obr. 70 Deformace válečku silou 35N-vlevo a 140N-vpravo

3.2.2. WSG 050-110-B

Specifikace chapadla

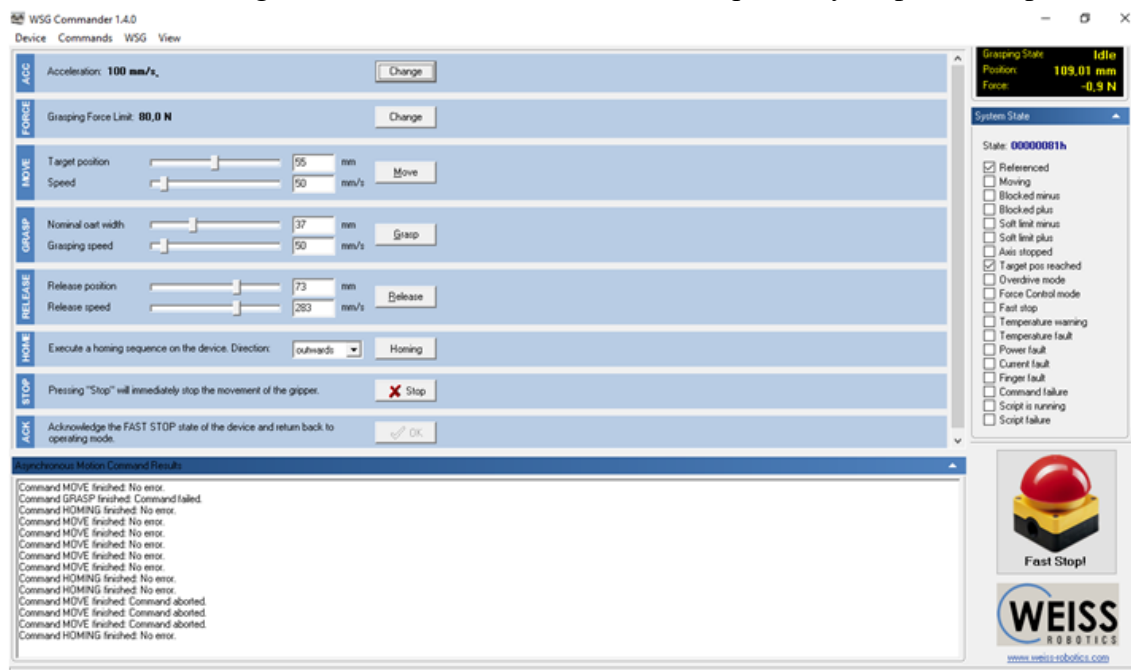
WSG 050-110-B je elektrické paralelní chapadlo s dlouhým zdvihem. Díky svému velkému zdvihu je velice univerzální a hodí se k uchopování široké velikostní škály výrobků. Je vhodné pro práci v čistém prostředí. Na rozdíl od předchozích dvou modelů disponuje zabudovaným enkodérem, díky kterému lze snímat polohu čelistí. Síla působící na uchopovaný objekt je snímána pomocí tenzometru zabudovaném v jednom z uchopovacích prvků. Díky tomu je chapadlo WSG 50 vhodné pro uchopování i křehkých předmětů, nebo předmětů z poddajných materiálů. Kvůli své robustní konstrukci s dlouhým zdvihem a tíže zabudované senzorky je těžší než předchozí dva modely, a to při nižší maximální uchopovací síle, možnostmi řízení však předchozí chapadla přesahuje. Parametry viz tabulka.

Tab. 14 Parametry WSG 050-110-B

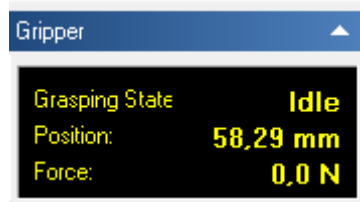
Parametry	WSG50	jednotky
Rozsah pohybu	55	[mm]
Min./Max. uchopovací síla	5/80	[N]
Hmotnost	1,2	[kg]
Doporučená hmotnost objektu manipulace	0,4	[kg]
Max. přípustná délka prstu	170	[mm]
Max. přípustná hmotnost prstu	0,3	[kg]
Opakovatelná přesnost	0,03	[mm]
Max. rychlost	420	[mm/s]
Min./Max. pracovní teplota	5/50	[°C]
Cena	113 tis.	[Kč]

Možnosti řízení

Napájení chapadla je zajištěno 4- pinovým M8 konektorem, ovládáno je připojením přes ethernet počítačem s nainstalovaným softwarem od výrobce- WSG Commander. Přehledný interface programu je rozdělen na hlavní část, kde se nastavují veškeré parametry chapadla- rychlost uzavírání/otevírání čelistí, uchopovací síla a její limity, počáteční a konečná pozice ÚP, a další. Postranní lišta programu obrazuje stav chapadla- pozici čelistí a sílu kterou čelisti právě působí na uchopovaný předmět, součástí postranní lišty je tlačítko pro rychlé zastavení činnosti chapadla a jeho vrácení do operativního stavu. Pro přehled o probíhajících příkazech informuje stavový řádek dole na obrazovce. Samotné chapadlo je vybavené slotem na Micro SD kartu, na kterou je možno uložit konfigurační data dokumentaci a software potřebný k operaci chapadla.



Obr. 71 Rozhraní programu WSG Commander



Obr. 72 Informativní pole z postranní lišty s informacemi o síle, poloze a stavu chapadla

Manual Control

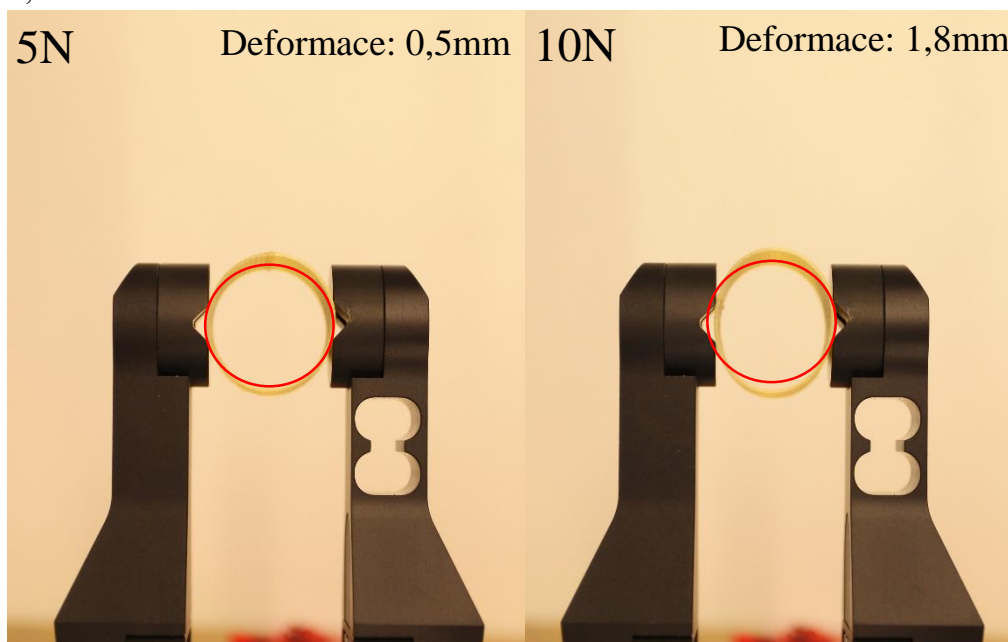
Manual Control

Width Target opening width of the fingers	55.0 mm
Speed Finger movement speed	50.0 mm/s
Force Limit Force limit used during positioning, always approximated by measuring the motor current. <i>Note: For high speed and/or acceleration, a higher Force Limit value may be required.</i>	37.5 N
Acceleration Maximum acceleration when moving the gripper fingers. This value is valid for the current session only. If you want to set a default acceleration for all future movements that is stored permanently, please use 'Settings→Motion Configuration' instead.	3475 mm/s ²
Move Move the gripper fingers using the given parameters	Move

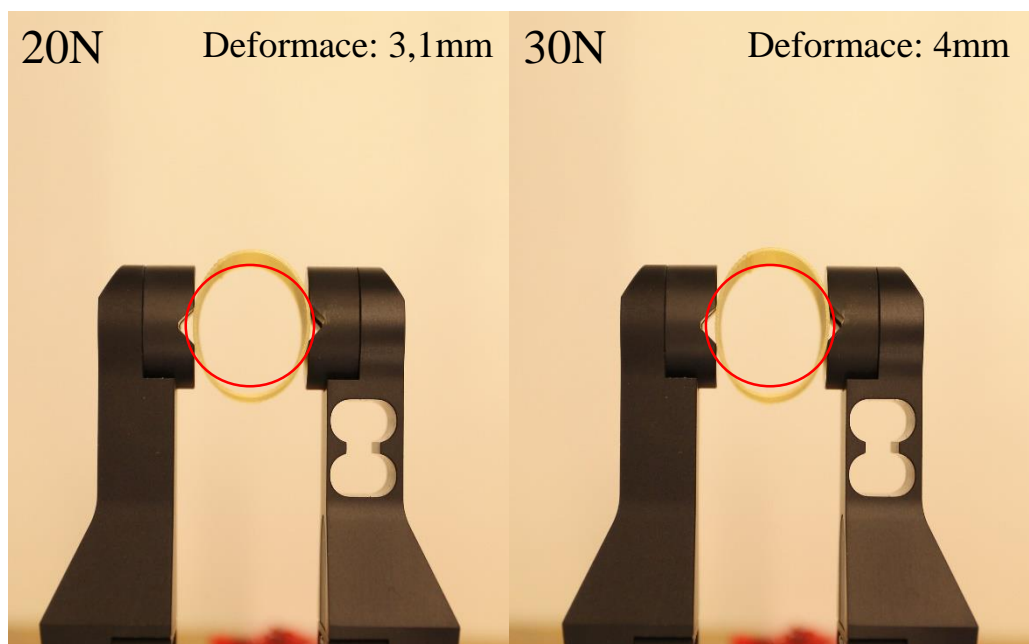
Obr. 73 Detail na možnosti manuálního nastavení parametrů chapadla ve WSG Commanderu

Prověření možností chapadla

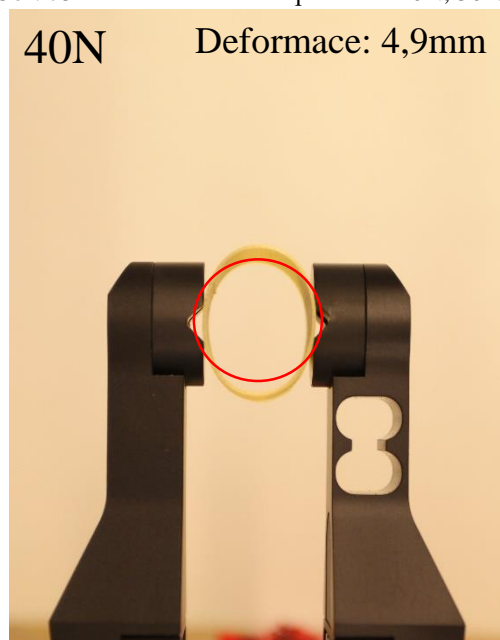
Jako u předchozích modelů chapadel byla fotografována deformace válečku při různých silách. Pro pokus byl použit dutý váleček z PLA o průměru 20mm a tloušťce stěny 0,5mm.



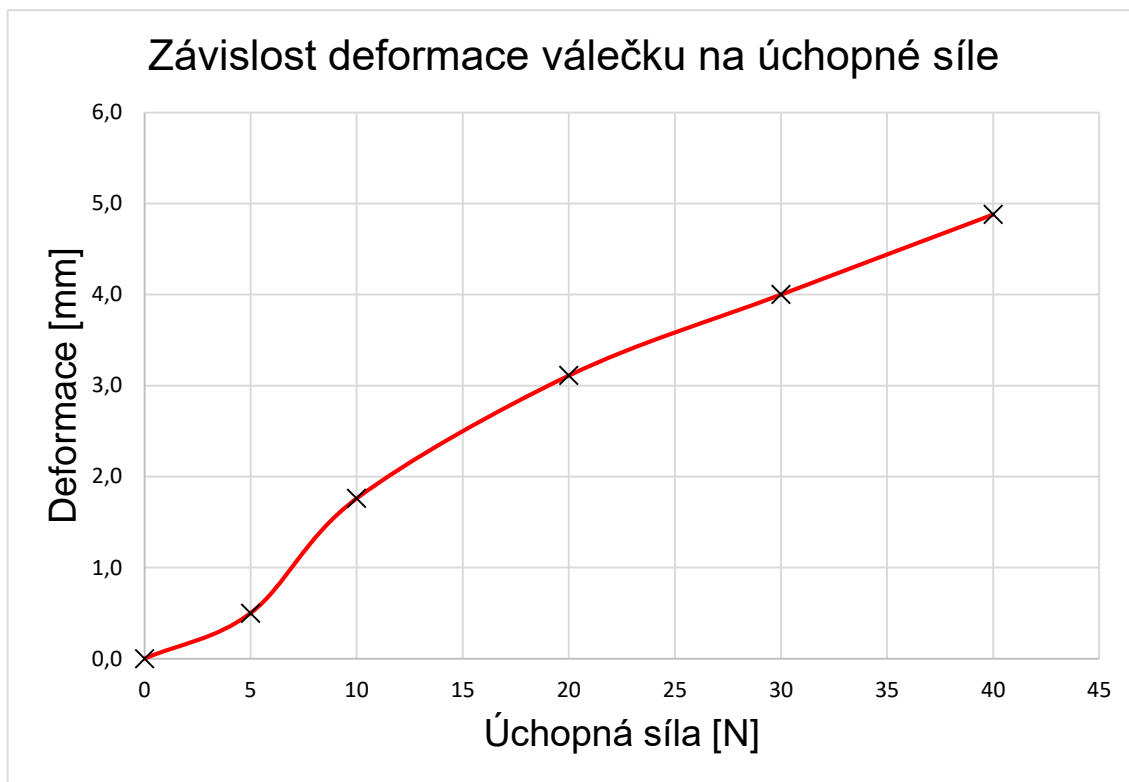
Obr. 74 Deformace válečku při 5N a 10N



Obr. 75 Deformace válečku při zleva-20N, 30N



Obr. 76 Deformace válečku při 40N



Obr. 77 Deformace válečku v závislosti na úchopné síle pro WSG 50

3.3. Shrnutí praktické části

Chapadlo EGP bylo z testovaných modelů nejjednodušší, dalo by se popsat jako elektrická varianta jednoduchého paralelního pneumatického chapadla, disponovalo pouze skokovým přepínačem úchopné síly. Tento způsob nastavení je velice jednoduchý a rychlý, přidává možnost využití jednoho chapadla pro více aplikací, ovšem nastavení není dost jemné pro manipulaci s křehkými objekty.

Oproti tomu model MEG disponoval řídicí jednotkou s možností přednastavení úchopné síly, rychlosti a zdvihu, a to v plném rozsahu, ne pouze skokově. Tímto způsobem je zajištěna větší kontrola nad parametry chapadla. Zároveň jeho řídicí jednotka hlásí informace o poloze čelistí.

Nejlepším z testovaných chapadel byl model WSG, který nabízel kompletní kontrolu nad veškerými parametry chapadla, a to v reálném čase, se zpětnou vazbou zabudovaného enkodéru a tenzometru. Toto chapadlo je proto nejvhodnější pro manipulaci s křehkými a poddajnými objekty.

4. Závěr

Úvodní část práce poskytuje základní zjednodušenou teorii k problematice aktivních úchopných hlavic. Jsou v ní uvedeny a vysvětleny základní pojmy, které jsou pak využity v rešeršní a praktické části práce.

Rešeršní práce pak nabízí obecný přehled a rozdělení koncových efektorů jak s elektrickým, tak pneumatickým pohonem, který reflektuje současný stav na trhu. Na základě této rešerše lze jednoduše shrnout jejich rozdíly.

Jasným rozdílem mezi chapadly s elektrickým a pneumatickým pohonem je odlišné řešení transformačního bloku dané jinými pohony. V praxi jsou častěji využívány pneumatické efekторы vzhledem k jejich jednodušší a lehčí konstrukci, nenáročné instalaci a provozu, vyšším rychlostem a úchopným silám při menší hmotnosti efektoru, a především mnohem výhodnější ceně. Nevýhodou pneumatických efektorů jsou však omezené možnosti řízení, které vyplývají z fyzikálních vlastností stlačeného vzduchu jako pracovního média a také nutnost instalace jeho rozvodů. Pneumatická chapadla mají mnohaletou tradici v jejich používání, a vzhledem k jejich rychlosti a jednoduchosti konstrukce si stále drží svůj význam na trhu s efektorů.

Trend vzrůstajících požadavků na flexibilitu řízení podnítl rozvoj elektrických úchopných hlavic. Aktivní efekторы s elektrickým pohonem nabízejí mnohem více možností řízení než pneumatické efekторы. Nejjednodušší elektrické efekторы disponují pouze skokově nastavitelnou úchopnou silou, nejlepší varianty nabízejí kompletní kontrolu nad manipulačním procesem v reálném čase, které najde využití například při manipulaci s křehkými předměty. Od možností řízení však také odvíjí jejich cena, kde nejjednodušší běžné elektrické modely bývají dvakrát tak drahé, než jejich pneumatické varianty, a cena speciálních elektrických chapadel překračuje milion Kč. Využití elektrických chapadel se obecně vyplatí pro takové aplikace, kde je potřeba manipulace s objekty různých tvarů, materiálů a tuhostí, tedy v případech, kde by bylo využití pneumatického chapadla neefektivní. Příkladem této flexibility je například adaptivní chapadlo, které představuje trend přizpůsobivých úchopných prvků pro různé objekty manipulace. Budoucí trendy robotiky, jako je například spolupráce člověka s robotem při vysoce flexibilních operacích, jsou dalším předpokladem pro nárůst využívání elektrických chapadel.

V praktické části byla zdárně řešena úloha návrhu a sestavení laboratorního standu pro tři modely chapadel od společnosti SCHUNK, a to chapadla EGP 40-N-N-B, MEG 40 EC a WSG 050-110-B. Kromě toho byla nutná konstrukce úchopných prvků pro dva z dostupných modelů- EGP 40 a MEG 40. Po splnění konstrukčních úloh bylo možno seznámit se s jednotlivými modely, prověřit možnosti jejich řízení a realizovat jednoduché experimenty.

Po seznámením se s jednotlivými modely bylo možno sepsat jejich charakteristiky. Model EGP 40-N-N-B byl z testovaných chapadel nejjednodušší, disponoval pouze skokově nastavitelnou úchopnou silou. Pokročilejší model MEG 40 EC byl vybaven řídicí jednotkou s možností plynulého nastavení úchopné síly, rychlosti a zdvihu. Nejlepším z testovaných chapadel byl model WSG, který nabízel kompletní kontrolu nad veškerými parametry chapadla v reálném čase, se zpětnou vazbou zabudovaného enkodéru a tenzometru.

Použitá literatura

- [1] NOVOTNÝ, F., HORÁK, M. *Efektory průmyslových robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-195-5.
- [2] HRADIL, J. *Koncové Efektory v Průmyslové Robotice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 77 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.
- [3] *SCHUNK: Superior Clamping and Gripping* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: www.schunk.com
- [4] *FESTO* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm
- [5] 2 jaws parallel electric gripper / Gimatic MPPM - Pinze elettriche parallele a 2 griffe. *Youtube* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=u8c6-HK1OL8>
- [6] *GIMATIC USA: Electric Grippers and Actuators* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.gimaticusa.com/gimatic-electric-grippers.htm>
- [7] GUELKER, M. The difference between robotic grippers with parallel, three-finger, and angled designs. *Machine Design* [online]. 2011 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://machinedesign.com/robotics/difference-between-robotic-grippers-parallel-three-finger-and-angled-designs>
- [8] 3-jaw parallel electric gripper / Gimatic MPTM - Pinze elettriche parallele a 3 griffe. *Youtube* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=O8ulZgKegY>
- [9] *SMC: Manufacturing Pneumatics Worldwide* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: www.smcusa.com
- [10] *ROBOTIQ* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.robotiq.com>
- [11] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2017-04-29]. ISBN 978-80-248-1522-0
- [12] JAŠÍČEK, R. *Manipulační operace s průmyslovými roboty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.
- [13] Novotný, F. *Speciální efekty pro manipulaci s tvarově členitými objekty ze skla*, ROBTEP'95, Robotika v teorii a praxi, Prešov 1995

Seznam výkresové dokumentace

Sestava EGP na robotu: 3-BP S14000153-1-0-00

Sestava EGP 40-N-N-B: 3 -BP S14000153-1-2-0

Příruba EGP40-N-N-B: 3-BP S14000153-1-2-02

Úchopný prvek 1-EGP40: 3-BP S14000153-1-2-04

Úchopný prvek 2-EGP40: 3-BP S14000153-1-2-05

Sestava MEG na robotu: 3-BP S14000153-2-0-00

Sestava MEG 40 EC: 3-BP S14000153-2-2-00

Příruba MEG40EC:: 3-BP S14000153-2-2-02

Úchopný prvek 1- MEG40EC: 3-BP S14000153-2-2-04

Úchopný prvek 2- MEG40EC: 3-BP S14000153-2-2-05

Sestava WSG na robotu: 3-BP S14000153-3-0-00

Sestava WSG 050-110-B: 3-BP S14000153-3-2-00

Příruba 1 WSG 50-110-B: 3-BP S14000153-3-2-02

Příruba 2 WSG 50-110-B: 3-BP S14000153-3-2-03